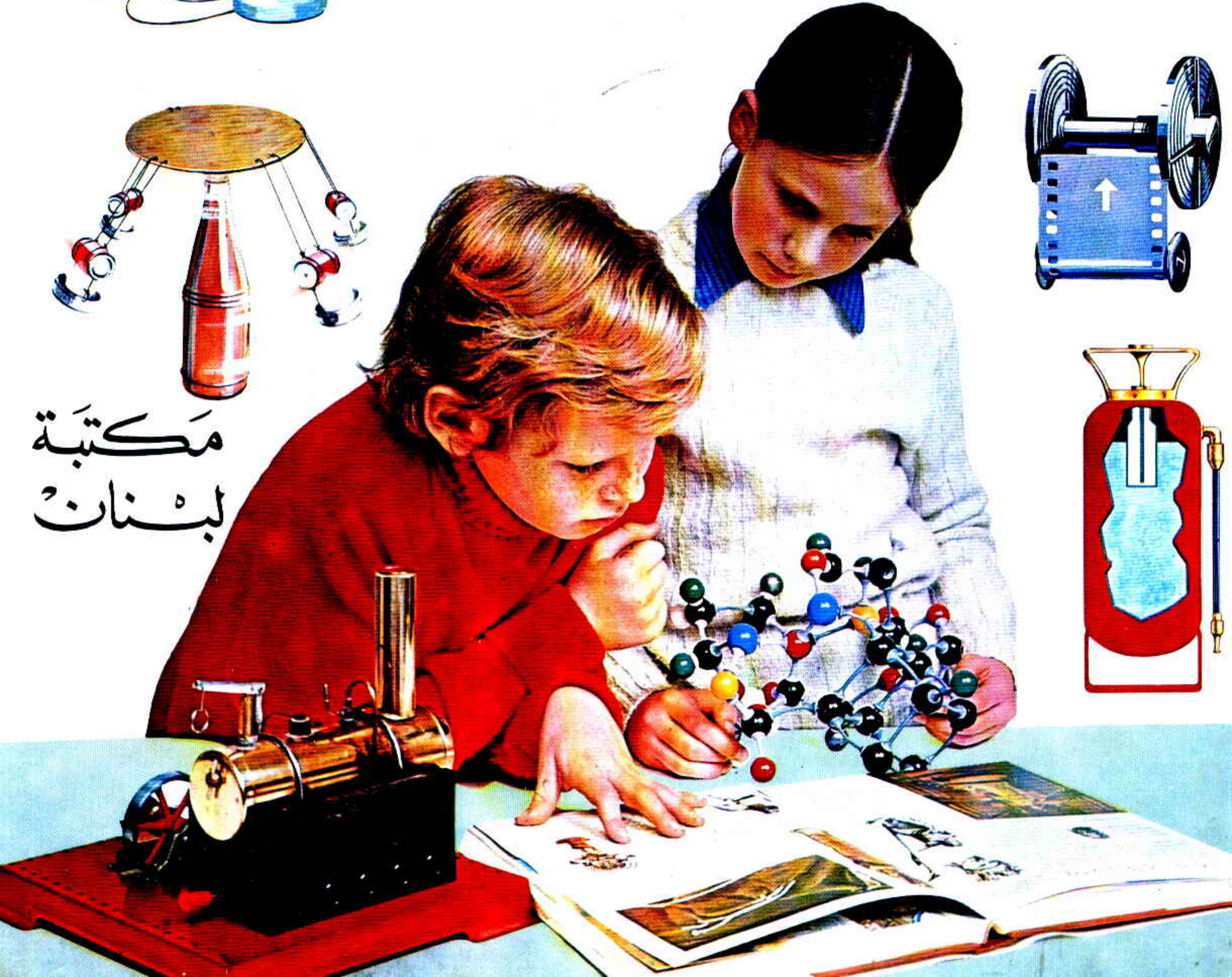
المُوسُوعَة العِلميَّة المُيسَّرة

(بالألوان والصُّور التّوضيحيَّة)

مَكتَبة لبنان

هٰذه الموسوعة مخصّصة للمباحث العلميّة، ومُوجّهة أساسًا للأولاد بين التّاسعة والخامسة عشرة ولكنّها تُفيد الكبار أيضًا . وهي مرجع ممتاز ليس فقط في المعرفة العلميّة بل أيضًا كمصدر نشاطات ممتعة واختبارات علميّة مُلهمة بإمكان الفتيان مُتابعتها أو إجراؤها . وهٰذه النشاطات والاختبارات بسيطة ومأمونة تُعلّم النّاشئ المبدأ العلميّ وترشده إلى صُنع نماذج وألعاب علميّة تطبيقيّة على الظواهر الغريبة الأخّاذة في دُنيا العلم . صفحات الموسوعة تُقارب الثّلاثمئة وصُورها تُقارب الألف ، إنّها بحقّ مرجع علميّ وتربويّ قيّم .

المَوْسُوعَة العِلْميَّة المُيَسَّرة

(بالألوان والصُّور التّوضيحيَّة)

أسهم في وضع النصّ العربي

نقولا شاهين

د. يوسُف دياب

أحمد الخطيب

التحرير والمراجعة

أحمد شفيق الخطيب

مكتبة لبنان

مقدمة

هٰذِهِ المَوْسوعَةُ مصمَّمَةٌ لِتكونَ «حَجَرَ زاوِيَةٍ» في ثَقافَةِ الأَجْيالِ الطّالِعَةِ في دُنْيا العُلومِ المُعاصِرَةِ مَهْمَا كانَتْ مَجالاتُ تَخَصُّصِهِمْ أَوِ اهْتِماماتُهُمُ المُسْتَقْبَلِيَّةُ. فالفِتْيانُ والفَتَياتُ في أَيّامِنا هٰذِهِ يَنْشَأونَ ويَكْبُرونَ في عالَمٍ رائِعٍ – عالَمٍ عَلَيْهِ دَمْغَةُ العِلْمِ بقَوانينِهِ وظَواهِرِهِ وتِكْنولوجياتِهِ وعَجائِبِهِ، فلا غَرْوَ أَنْ يُؤَثِّرَ العِلْمُ في ماجَرَيَّاتِ حَياتِهِمْ أَنّى سارَتْ بِهِمْ دُروبُ الحَياةِ.

إنَّ مادَّةَ العِلْمِ وَثيقَةُ الصِّلَةِ بِحَياةِ الأَوْلادِ – بَنينَ وبَناتٍ – وبيئَتِهِمْ. فكُلُّ آلَةٍ مِمّا يَراهُ الفِتْيانُ مِنْ مُنْجَزاتِ العِلْمِ الحَديثِ تَتَحَدّاهُمْ بِعَلاماتِ اسْتِفْهامٍ كَبيرَةٍ: كَيْفَ تَعْمَلُ؟ ولماذا؟ ومِنْ أَيْنَ؟ ومَنِ اكْتَشَفَها؟ وكَيْفَ؟ بَلْ إنَّ الظَّواهِرَ الطَّبيعِيَّةَ الَّتي هِيَ جُزْءٌ كَبيرٌ ومُهِمٌّ مِنْ مادَّةِ العُلومِ هِيَ ظَواهِرُ حَوْلَنا وفينا وفَوْقَنا وتَحْتَنا، في كَوْكَبِنا هٰذا وفي الكَواكِبِ والأَكْوانِ الأُخْرى، وكُلُّها تُجابِهُ المُسْتَطْلِعَ بالأَسْئِلَةِ إيّاها. والمَوْسوعَةُ هٰذِهِ مُصَمَّمَةٌ لِتُعالِجَ المِئاتِ مِنَ الأَسْئِلَةِ الَّتي تَعِنُّ لِلنّاشِئينَ بَلْ لِعامَّةِ المُثَقَّفينَ في هٰذِهِ المَجالاتِ.

لَقَدْ حَرَصْنا عَلى أَلّا يُحْرَمَ الجيلُ العَرَبِيُّ الصّاعِدُ في هٰذا المجال ما تَنْعَمُ بِهِ الأَجْيالُ النّاشِئَةُ في بُلْدانِ العالَمِ المُتَطَوِّرَةِ، فاخْتَرْنا له أَفْضَلَ عَمَلٍ عُلومِيٍّ مَوسوعِيٍّ في مَجالِهِ لِنُقَدِّمَهُ إلَيْهِ في مُسْتَوًى يُضاهي الأَصْلَ ويَتَفَوَّقُ عَلَيْهِ أَحْيانًا. ثُمَّ إنَّ مادَّةَ العِلْمِ ومَوْضوعاتِهِ وإنْجازاتِهِ هِيَ مَشاعٌ عامٌّ بَيْنَ الشُّعوبِ، فلا تَفْريقَ في دُنْيا العِلْمِ بَيْنَ أَجْناسٍ وشُعوبٍ وأَلْوانٍ – فالإنْسانُ هُوَ الهَدَفُ أَوَّلاً وآخِرًا. لَقَدْ لاقَتْ هٰذِهِ المَوْسوعَةُ الرَّواجَ الَّذي تَسْتَحِقُّهُ في العالَمِ النّاطِقِ باللُّغَةِ الإنْكليزِيَّةِ، فأُعيدَ طَبْعُها سِتَّ مَرّاتٍ في العامَيْنِ اللَّذَيْنِ كُنّا فيهِما نُعِدُّ النُّسْخَةَ العَرَبِيَّةَ للنَّشْرِ.

والمَوْسوعَةُ مُوَجَّهَةٌ أَصْلاً إلى الفِتْيانِ بَيْنَ سِنِّ التّاسِعَةِ والخامِسَةَ عَشْرَةَ، ولٰكِنَّ مُطالَعَتَها سَتَلَذُّ لِلْكِبارِ أَيْضًا ولِعامَّةِ المُثَقَّفينَ، وسَيَجِدُ الكَثيرونَ مِنْهُمْ فيها مَنْهَلاً واسِعًا لِلْمَعْرِفَةِ في غَيْرِ أَبْوابِ اخْتِصاصِهِمْ.

وقَدْ رُوعِيَ في تَصْميمِ المَوْسوعَةِ أَنْ تَكونَ عَوْنًا للنّاشِئينَ الرّاغِبينَ في القِيامِ بِنَشاطاتٍ عِلْمِيَّةٍ خاصَّةٍ، جَماعِيَّةٍ أَوْ عَلى نِطاقٍ فَرْدِيٍّ، بِما تُقَدِّمُهُ إلَيهِمْ مِنْ مَبادِئَ واخْتِباراتٍ تَطْبيقِيَّةٍ عَلَيْها وإرْشاداتٍ لِلْقِيامِ بِصُنْعِ نَماذِجَ بَسيطَةٍ تَتَوَضَّحُ فيها تِلْكَ المَبادِئُ العِلْمِيَّةُ الَّتي هِيَ أَساسُ الأَجْهِزَةِ الضَّخْمَةِ المُعَقَّدَةِ الَّتي تَقومُ عَلَيْها الحَضارَةُ الحَديثَةُ اليَوْمَ. وهِيَ في هٰذا المَجالِ تُكَمِّلُ ما تَقومُ بِهِ المَدارِسُ والكُلِّيّاتُ، أَوْ ما يَجِبُ أَنْ تَقومَ بِهِ، مِنْ حَيْثُ تَوْجيهُ اهْتِمامِ النّاشِئَةِ نَحْوَ العُلومِ لِتَنْشِئَةِ جيلٍ مِنَ التِّقْنِيّينَ العُلَماءِ يَعْمَلُ عَلى اخْتِراقِ حاجِزِ التِّكنولوجِيَةِ بَيْنَنا وبَيْنَ الأُمَمِ المُتَطَوِّرَةِ، مَجاراةً لِهٰذا العَصْرِ ومُتَطَلَّباتِهِ وتَحَدِّياتِهِ.

والمَوْسوعَةُ مُقَسَّمَةٌ إلى أَجْزاءٍ تَسْتَغْرِقُ مَجالاتِ العُلومِ المُخْتَلِفَةِ وتُوَفِّرُ تَغْطِيَةً مَوْضوعِيَّةً أَكْثَرَ شُمولاً، باعْتِبارِ أَنَّ مُعالَجَةَ كُلِّ مَوْضوعٍ في السِّياقِ الطَّبيعِيِّ لَهُ تُتيحُ إدْراجَ أَقْصى ما يُمْكِنُ مِنَ المادَّةِ في الحَجْمِ المُحَدَّدِ لِلْمَوْسوعَةِ.

تَبْدَأُ أَجْزاءُ المَوْسوعَةِ الخَمْسَةُ بِجُزْءٍ عَنِ الأَرْضِ والكَوْنِ، تَنْدَرِجُ فيهِ عُلومُ الفَلَكِ والأَرْصادِ والجُيولوجِيَةِ وأَساسِيّاتُ عِلْمِ الكيمياء. ويُعالِجُ الجُزْءُ الثّاني الميكانيكا والحَرارَةَ بِمَجالاتِهِما الواسِعَةِ ووَحَداتِهِما المُتَشابِكَةِ. وفي الجُزْءِ الثّالِثِ أَبْحاثٌ في الضَّوْءِ والصَّوْتِ ومُخْتَلِفِ الظَّواهِرِ والأَجْهِزَةِ المُتَّصِلَةِ بِهِما. ويُعالِجُ الجُزْءُ الرّابِعُ الكَهْرَباءَ والمِغْنَطيسِيَّةَ والإلِكْتْرونات، مِنْ أَبْسَطِ تَطْبيقاتِها في الخَلِيَّةِ الغَلْفانِيَّةِ حَتّى أَعْقَدِها في المُفاعِلاتِ النَّوَوِيَّةِ. وتُخْتَتَمُ المَوْسوعَةُ بِجُزْءٍ خامِسٍ يَبْحَثُ في الاخْتِراعاتِ الكُبْرى عَلى مَدى العُصورِ ودَوْرِ العُلَماءِ الَّذينَ حَقَّقوا تِلْكَ المُكْتَشَفاتِ بِجُهْدِهِمْ وعَبْقَرِيَّتِهِمْ.

إنَّ كُلَّ صَفْحَةٍ مِنَ المَوْسوعَةِ غَنِيَّةٌ بالصُّوَرِ المُلَوَّنَةِ الرّائِعَةِ والرُّسومِ التَّفْصيلِيَّةِ والبَيانِيَّةِ. فَلَعَلَّ صورَةً مُعَبِّرَةً تَخْدُمُ الغَرَضَ وتُؤَدّي الفِكْرَةَ أَكْثَرَ مِنَ الكَلِماتِ مَهْمَا طالَتْ. فالصُّوَرُ في هٰذِهِ المَوْسوعَةِ لَيْسَتْ تَزْيينِيَّةً – إنَّها بَعْضُ المادَّةِ العِلْمِيَّةِ في المَوْسوعَةِ أَبْرَزَ فَنِّيًّا. فقَدِ اسْتُخْدِمَتِ الصُّوَرُ لِلتَّوْضيحِ والشَّرْحِ، كَما إنَّها تُؤَلِّفُ مَعَ ما يَلْحَقُ بِها مِنْ كَلامٍ وتَفْصيلاتٍ مَوادَّ إضافِيَّةً تُكَمِّلُ مادَّةَ المَتْنِ وتُعَزِّزُها.

وقَدْ أَلْحَقْنا بالمَوْسوعَةِ فِهْرِسًا شامِلاً يَجْعَلُ مِنَ المَوْسوعَةِ مَرْجِعًا مُعْجَمِيًّا مَوْسوعِيًّا سَهْلَ المَنالِ يَقودُ المُراجِعَ بِسُرْعَةٍ ويُسْرٍ إلى صَفْحَةٍ أَوْ صَفَحاتِ المادَّةِ المَطْلوبَةِ في مُخْتَلِفِ سِياقاتِها في مَجالاتِ العِلْمِ والتِّكْنولوجِيَةِ.

ويَحْدونا الأَمَلُ أَنْ تُسْهِمَ هٰذِهِ المَوْسوعَةُ في تَوْجيهِ وتَعْميقِ اهْتِمامِ النّاشِئَةِ بالعِلْمِ ودُنْيا العِلْمِ، وفي حَفْزِ وتَنْمِيَةِ حُبِّ الاسْتِطْلاعِ والاخْتِبارِ لَدَيْهِمْ، وفي صَقْلِ مَواهِبِهِمْ لِتَنْشِئَةِ جيلٍ مِنَ العُلَماءِ والباحِثينَ. وبِذٰلِكَ تُسْدي يَدًا إلى تَعْزيزِ نَهْضَتِنا العِلْمِيَّةِ الَّتي لا غِنى عَنْها لِمُسْتَقْبَلِنا الحَضارِيِّ ولِنَهْضَتِنا المُتَكامِلَةِ الشّامِلَةِ. واللهُ المُوَفِّقُ.

رئيس التّحرير

أحمد شفيق الخطيب

المُحْتَوَيات

الأرض والكون

المحتويات | الصفحة

قُبَّةٌ فَلَكِيَّةٌ اصْطِناعِيَّةٌ «پلانيتاريوم»
(مِنْ صُنْعِ مَعامِلِ زايس)

إلى اليمين

كانَ النّاسُ قَديمًا يَعْتَقِدونَ أنَّ الفَلَكَ هُوَ سَقْفٌ يَدورُ وَقَدْ ثُبِّتَتْ فيهِ الشَّمْسُ وَالقَمَرُ وَالكَواكِبُ السَّيّارَةُ وَالنُّجومُ. وَفي قُبَّةِ الپلانيتاريوم يُمْكِنُ إسْقاطُ أجزاءٍ مُخْتَلِفَةٍ مِنْ فَلَكِ اللَّيْلِ عَلى سَطْحِ القُبَّةِ بِواسِطَةِ أَجْهِزَةٍ مُعَقَّدَةٍ. وَبِذٰلِكَ يُمْكِنُ عَرْضُ النُّجومِ وَالأَبْراجِ لِلْجَماهيرِ.

فَوْقُ

مَجَرَّتُنا المَعْروفَةُ بِنِظامِ دَرْبِ التَّبّانَةِ كَما تُرى جانِبِيًّا، وَمِنْ فَوْقُ. يُشيرُ السَّهْمانِ إلى مَوْقِعِ الشَّمْسِ. وَلِلْمَجَرَّةِ شَكْلٌ لَوْلَبِيٌّ حَلَزونِيٌّ وَدَرْبُ التَّبّانَةِ هِيَ إحْدى أَذْرُعِ الحَلَزونِ.

اَلْكَوْنُ

مُنْذُ أَقْدَمِ الأَزْمِنَةِ وَالنّاسُ يَتَطَلَّعونَ نَحْوَ السَّمَواتِ بِدَهْشَةٍ وَذُهولٍ. وَقَبْلَ أَنْ يَتَفَهَّموا شَيْئًا عَمّا كانوا يُشاهِدونَهُ عَبَدوا الشَّمْسَ، وَالقَمَرَ، وَالكَواكِبَ السَّيّارَةَ كَآلِهَةٍ. وَعِنْدَما عَرَفوا تَحَرُّكاتِ الأَجْسامِ المُنْتَظِمَةِ في الفَلَكِ، اتَّخَذوها مِقْياسًا لِلزَّمَنِ وَأَساسًا لِلتَّقاويمِ.

وَفي لَيْلَةٍ صافِيَةٍ يُمْكِنُكَ أَنْ تَرى عَدَدًا كَبيرًا مِنَ النُّجومِ. وَبِالرَّغْمِ مِنْ أَنَّها تَبْدو كَنُقَطٍ صَغيرَةٍ مِنَ الضَّوْءِ، فَهِيَ في الواقِعِ أَجْسامٌ كَبيرَةٌ كُرَوِيَّةٌ تُطْلِقُ مَقاديرَ عَظيمَةً مِنَ الضَّوْءِ وَالحَرارَةِ. وَهِيَ تَبْدو لَنا صَغيرَةً لِأَنَّها تَبْعُدُ عَنّا مَلايينَ الكيلومِتْراتِ. لِذا فَالفَلَكِيّونَ لا يَقيسونَ المَسافاتِ بِالكيلومِتْراتِ بَلْ بِالسِّنينَ الضَّوْئِيَّةِ. اَلسَّنَةُ الضَّوْئِيَّةُ هِيَ المَسافَةُ الَّتي يَجْتازُها الضَّوْءُ في سَنَةٍ وَتُساوي نَحْوَ ٩ مَلايينِ مِلْيونِ كيلومِتْرٍ. وَأَقْرَبُ نَجْمٍ لِلشَّمْسِ، وَهُوَ الظِّلْمانُ القَريبُ، يَبْعُدُ عَنّا أَكْثَرَ مِنْ ٤ سِنينَ ضَوْئِيَّةٍ، أَمّا نَجْمُ ذَنَبِ الإِوَزَّةِ فَيَبْعُدُ عَنّا حَوالى ٦٥٠ سَنَةً ضَوْئِيَّةً.

وَهُناكَ نُجومٌ أَكْبَرُ كَثيرًا مِنْ غَيْرِها، وَالبَعْضُ أَعْظَمُ إشْراقًا إمّا لِأَنَّهُ يُطْلِقُ مَزيدًا مِنَ الضَّوْءِ أو لِقُرْبِهِ مِنّا. وَالضَّوْءُ الَّذي تُطْلِقُهُ النُّجومُ مُخْتَلِفُ الأَلْوانِ. فَالنَّجْمُ الَّذي يَبْدو بِلَوْنٍ أَحْمَرَ هُوَ أَبْرَدُ مِنَ النَّجْمِ الأَبْيَضِ إلى زُرْقَةٍ. وَأَهَمُّ نَجْمٍ بِالنِّسْبَةِ لَنا هُوَ الشَّمْسُ وَهِيَ تُطْلِقُ ضَوْءًا أَصْفَرَ وَتَبْدو كَبيرَةً لَنا نِسْبِيًّا مَعَ أَنَّها في الواقِعِ أَصْغَرُ كَثيرًا وَأَقَلُّ إشْراقًا مِنْ نُجومٍ أُخْرى.

وَبِالرَّغْمِ مِنْ أَنَّ النُّجومَ بَعيدَةٌ جِدًّا بَعْضُها عَنْ بَعْضٍ فَإِنَّها تَقَعُ في مُتَجَمَّعاتٍ تُدْعى مَجَرّاتٍ. وَالشَّمْسُ هِيَ واحِدٌ مِنْ مَلايينِ النُّجومِ الَّتي لا تُحصى وَالَّتي تُؤَلِّفُ مَجَرَّتَنا. وَبِالإِمْكانِ أَحْيانًا مُشاهَدَةُ قِسْمٍ مِنْ هٰذِهِ المَجَرَّةِ مُمْتَدًّا كَشَريطٍ خافِتٍ مِنَ النُّجومِ في الفَلَكِ، وَهٰذا الشَّريطُ هُوَ دَرْبُ التَّبّانَةِ. وَبِالإِمْكانِ تَقْسيمُ النُّجومِ في المَجَرَّةِ إلى مَجْموعاتٍ أَصْغَرَ هِيَ الكَوْكَباتُ أو الصُّوَرُ الفَلَكِيَّةُ الَّتي تُعْرَفُ بِأَشْكالِها. وَتُساعِدُ الأَبْراجُ الأَشَدُّ تَأَلُّقًا كَكَوْكَبَةِ الجَبّارِ في تَحْديدِ مَواقِعِ الكَوْكَباتِ أو النُّجومِ الأَقَلِّ إشْراقًا. أَمّا المَجَرَّةُ فَهِيَ ضَخْمَةٌ لِلْغايَةِ وَتَحْتاجُ مَرْكَبَةٌ فَضائِيَّةٌ إلى ١٠٠ ٠٠٠ سَنَةٍ لِتَجْتازَها. وَلِكَيْ تَصِلَ المَرْكَبَةُ إلى أَقْرَبِ مَجَرَّةٍ مِنّا وَهِيَ مَجَرَّةُ المَرْأَةِ المُسَلْسَلَةِ يَلْزَمُها مِلْيونا سَنَةٍ.

أَمّا مَجَرَّتُنا فَهِيَ واحِدَةٌ مِنْ آلافِ مَلايينِ المَجَرّاتِ وَكُلُّها تَخْتَلِفُ شَكْلًا وَحَجْمًا. كَما توجَدُ في الفَضاءِ أَيْضًا سُحُبٌ كَبيرَةٌ مِنَ الغازِ وَالغُبارِ تُدْعى السُّدُمَ. وَهٰكَذا يَتَأَلَّفُ الكَوْنُ مِنَ المَجَرّاتِ وَالسُّدُمِ وَالفَراغِ بَيْنَها. وَلَسْنا نَعْرِفُ حَجْمَ الكَوْنِ لٰكِنَّنا نَعْلَمُ أَنَّ المَجَرّاتِ يَبْتَعِدُ بَعْضُها عَنْ بَعْضٍ بِسُرْعاتٍ عَظيمَةٍ، فَالكَوْنُ إذًا يَتَمَدَّدُ كَمُنْطادٍ يَنْتَفِخُ. وَيَعْتَقِدُ كَثيرٌ مِنَ الفَلَكِيّينَ أَنَّ هٰذا التَّمَدُّدَ مُسْتَمِرٌّ مُنْذُ نَشْأَةِ هٰذا الكَوْنِ، رُبَّما قَبْلَ سَبْعَةِ آلافِ مِلْيونِ سَنَةٍ. وَقَدْ تَكَوَّنَتِ النُّجومُ وَالكَواكِبُ السَّيّارَةُ بِبُطْءٍ شَديدٍ. وَالنَّجْمُ يُطْلِقُ ضَوْءًا وَحَرارَةً لِمَدى مَلايينِ السِّنينَ ثُمَّ يَخْفُتُ ضَوْؤُهُ وَيُحْتَضَرُ، وَفي الوَقْتِ نَفْسِهِ تَتَكَوَّنُ نُجومٌ أُخْرى مِنَ السُّحُبِ الغازِيَّةِ.

إلى اليمين

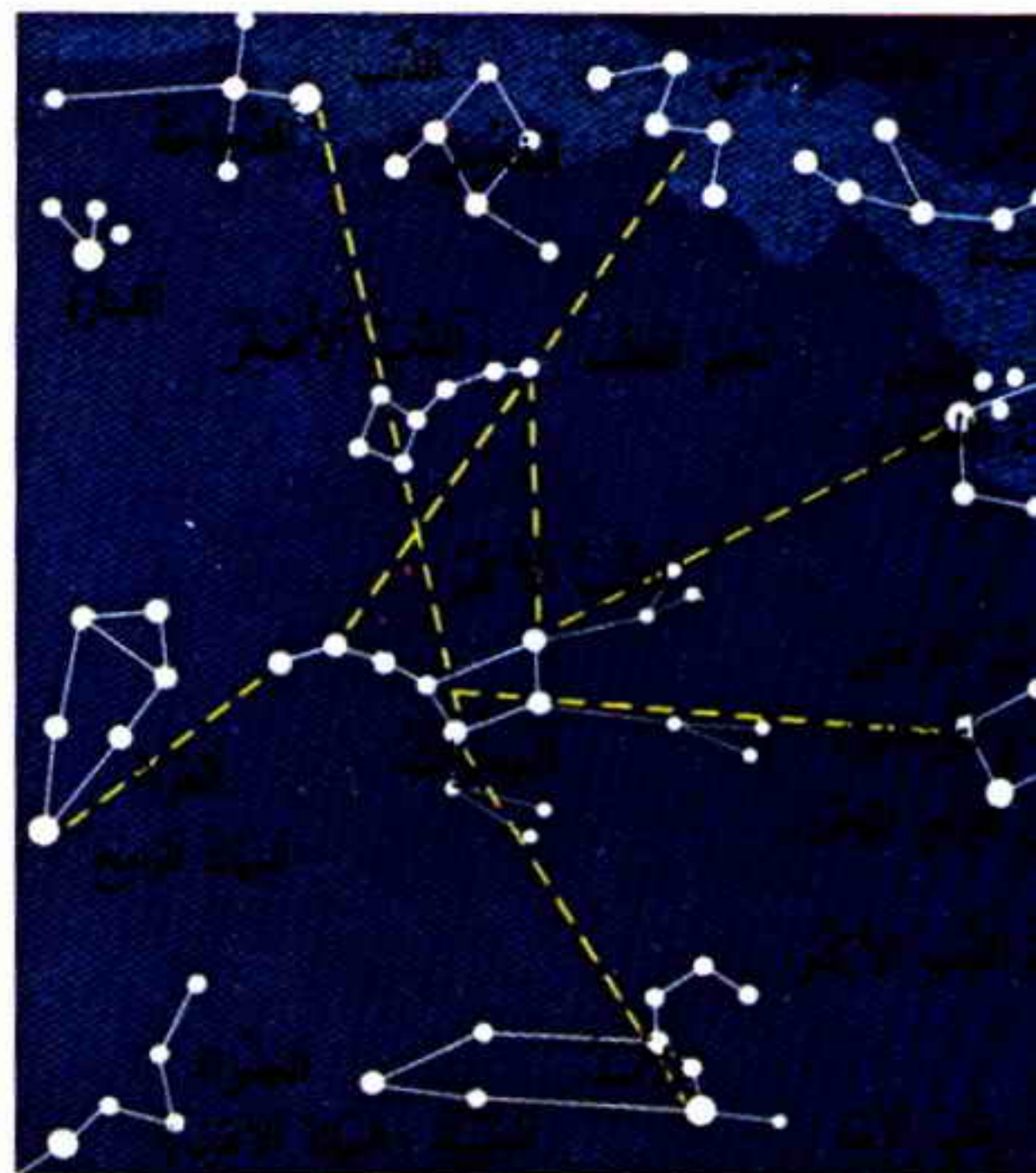
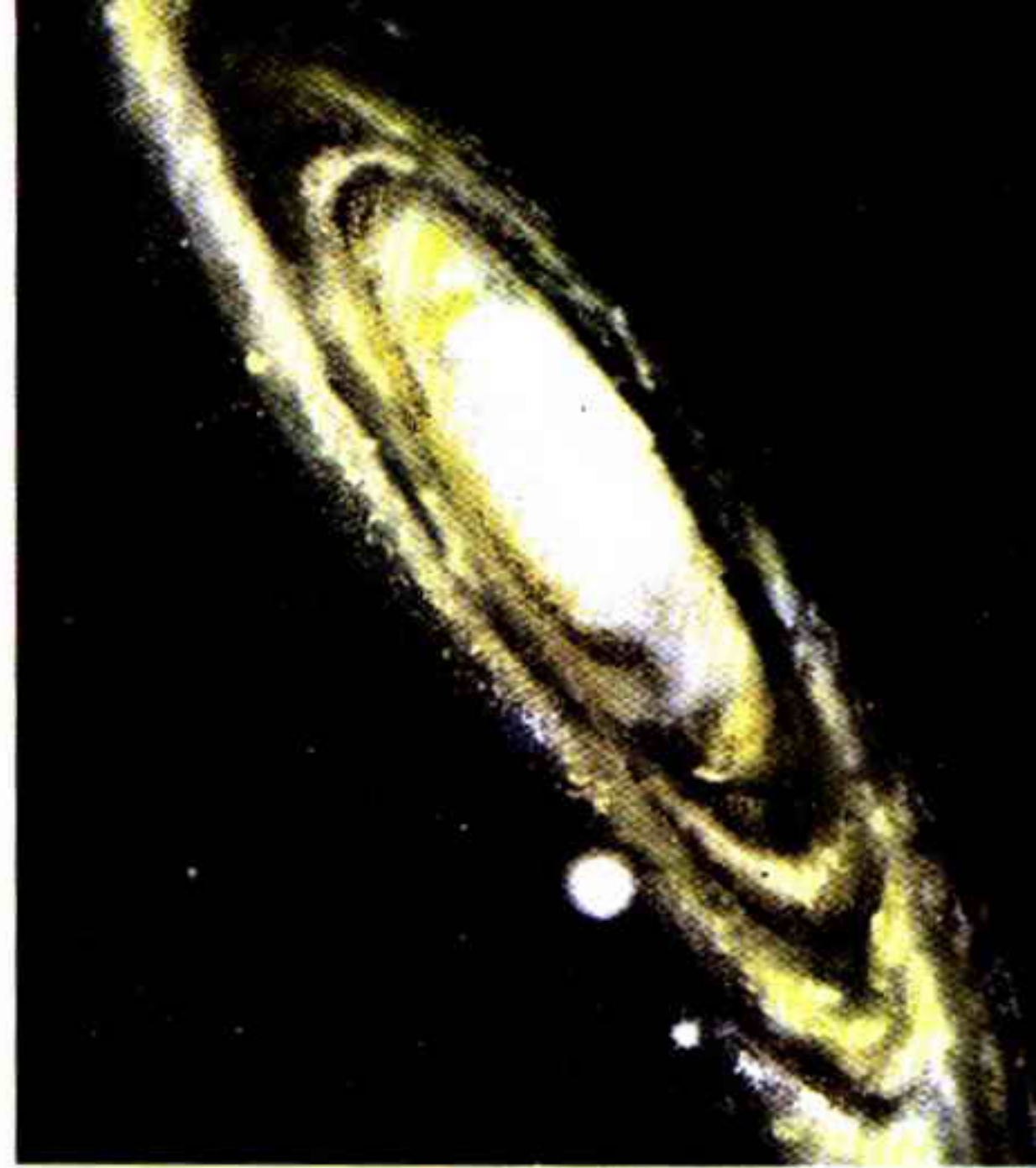
هٰذِهِ بَقايا نَجْمٍ اَنْفَجَرَ مُنْذُ ٦٠٠٠ سَنَةٍ. وَقَدْ شوهِدَتْ لِأَوَّلِ مَرَّةٍ عامَ ١٠٥٤ (وَقَدْ سارَ هٰذا الضَّوْءُ ٥٠٠٠ سَنَةٍ لِيَصِلَ إلى الأَرْضِ). يُدْعَى هٰذا النَّوْعُ مِنَ النُّجومِ المُتَفَجِّرَةِ، المُتَجَدِّداتِ العُظْمَى، وَيُمْكِنُها إِطْلاقُ مِقْدارٍ عَظيمٍ مِنَ الضَّوْءِ زَمَنًا طَويلًا جِدًّا.

إلى أَقْصى اليَمينِ

مَجَرَّةُ المَرْأَةِ المُسَلْسَلَةِ. أَقْرَبُ مَجَرَّةٍ إِلَيْنا، بُعْدُها أَكْثَرُ مِنْ مِلْيونَيْ سَنَةٍ ضَوْئِيَّةٍ عَنِ الأَرْضِ وَهِيَ أَكْبَرُ مِنْ مَجَرَّتِنا بِمَرَّتَيْنِ.

فَوْقُ

الدُّبُّ الأَكْبَرُ وَنُمْكِنُ مُشاهَدَتُهُ في نِصْفِ الكُرَةِ الشَّمالِيِّ فَقَطْ. وَهُوَ يَضُمُّ مَجْموعَةً مِنَ النُّجومِ اللّامِعَةِ تُدْعَى المِحْراثَ.

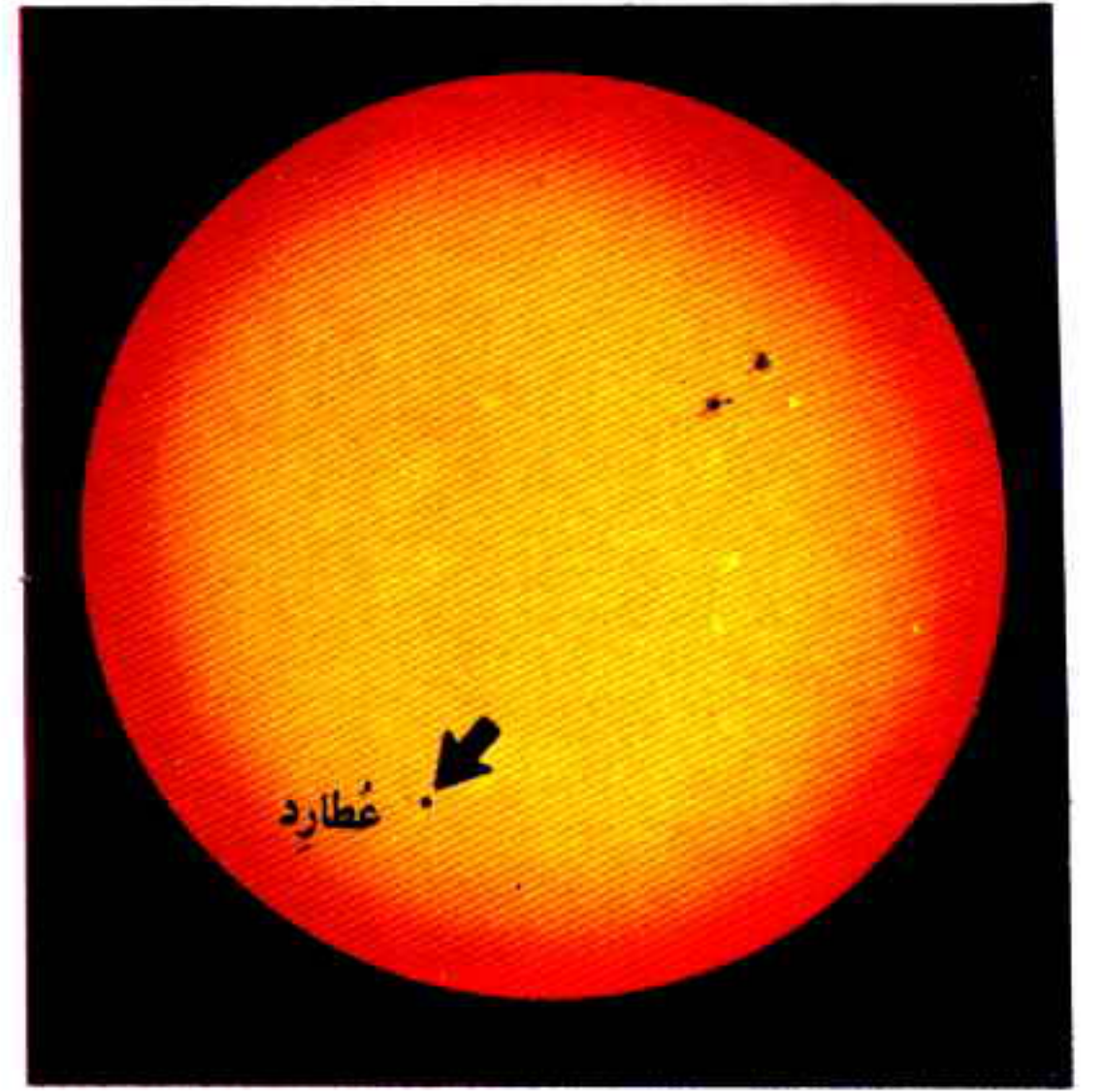
فَوْقُ

كَوْكَبَةُ الجبار وَنُمْكِنُ مُشاهَدَتُها في لَيْلَةٍ صافِيَةٍ مِنْ لَيالي الشِّتاءِ في نِصْفَيِ الكُرَةِ الشَّمالِيِّ وَالجَنوبِيِّ. أَمّا النُّجومُ (وَأَسماؤُها ظاهِرَةٌ بِحَجْمٍ أَصْغَرَ) وَالأَبْراجُ الأُخْرى فَيُمْكِنُ تَحْديدُ مَواقِعِها بِاتِّخاذِ كَوْكَبَةِ الجَبّارِ وَنُجومِها مَرْجِعَ إِسْنادٍ.

إلى اليَمينِ

كَوْكَبَةُ الصَّليبِ الجَنوبِيِّ تُشاهَدُ مِنْ نِصْفِ الكُرَةِ الجَنوبِيِّ فَقَطْ. وَتُشيرُ الذِّراعُ الأَطْوَلُ إلى القُطْبِ الجَنوبِيِّ.

إلى اليمين

الشَّمْسُ بِالْمُقارَنَةِ مَعَ عُطارِدَ الْمُشارِ إِلَيهِ بِالسَّهْمِ. وَقَدْ يَمُرُّ كُلٌّ مِنْ كَوكَبَيْ عُطارِدَ وَالزُّهَرَةِ أَمامَ الشَّمْسِ فَيَحْجُبُ بَعضَ ضَوئِها ويظهَرُ كَنُقْطَةٍ سَوداءَ. وَيُعْرَفُ ذلِكَ بِالعُبورِ، وَهُوَ نادِرُ الحُدوثِ جِدًّا.

عُطارِد

اَلشَّمْسُ

اَلشَّمْسُ أَقْرَبُ نَجْمٍ إِلى الأَرضِ وَتَبْعُدُ نَحْوَ ١٥٠ مِليون كيلومِتْرٍ عَنْها. وَالشَّمْسُ بِالْمُقارَنَةِ مَعَ بَعْضِ النُّجومِ الأُخْرى صَغيرَةٌ لا يُؤْبَهُ لَها وَلكِنَّها بِالنِّسْبَةِ إِلى الأَرْضِ كَبيرَةٌ جدًّا. وَيَبْلُغُ قُطْرُها نَحْوَ ٠٠٠ ٣٩٢ ١ كيلومِتر وَهٰذا أَكْثَرُ مِنْ ١٠٩ أَضْعافِ قُطْرِ الأَرْضِ، وَهِيَ أَيضًا أثقَلُ مِنَ الأَرْضِ بِمِقْدارِ ٠٠٠ ٣٣٣ مَرَّةٍ. وَالشَّمْسُ تُزَوِّدُنا بِالحَرارَةِ وَالضَّوْءِ وَهُما قِوامُ حَياتِنا.

وَدَرَجَةُ الحَرارَةِ في مَرْكَزِ الشَّمْسِ عالِيَةٌ جدًّا لِدَرَجَةِ أَنَّ أَيَّ جِسْمٍ مَعْروفٍ عَلى الأَرضِ يَنْصَهِرُ وَيَتَبَخَّرُ لِلتَّوِّ هُناكَ، فَدَرَجَةُ الحَرارَةِ تَبْلُغُ ٠٠٠ ٠٠٠ ١٤ دَرَجَةٍ مِئَوِيَّةٍ بَيْنَما لا تَرْتَفِعُ دَرَجَةُ حَرارَةِ الأَرضِ عادَةً عَنْ ٥٠° مِئَوِيَّة.

يَتَأَلَّفُ قَلْبُ الشَّمْسِ مِنْ غازِ الهَيْدروجين، وَدَرَجَةُ حَرارَةِ الهَيْدروجين العالِيَةُ تُؤَدّي إِلى تَفاعُلاتٍ مُعَقَّدَةٍ جدًّا في داخِلِ الشَّمْسِ. وَتُعْرَفُ هٰذِهِ بِتَفاعُلاتِ الانْدِماجِ (انظُرْ صفحة ٢٠٠). وَهٰذِهِ التَّفاعُلاتُ تُنْتِجُ مَقاديرَ عَظيمَةً مِنَ الحَرارَةِ وَالضَّوءِ تُبْعَثُ إِلى الخارِجِ بِاسْتِمْرارٍ مِنْ سَطْحِ الشَّمْسِ.

وَيُدعى سَطْحُ الشَّمسِ الفوتوسْفير أي السَّطْحَ النَيِّرَ وَهُوَ أَبرَدُ كَثيرًا مِنْ داخِلِها لكِنَّهُ مَعَ ذلِكَ حارٌّ جدًّا إِذْ تَبْلُغُ دَرَجَةُ حَرارَتِهِ ٦٠٠٠° مِئَوِيَّة. وَيَبْدو هٰذا السَّطْحُ مُنَقَّطًا فُقاعِيًّا غَيْرَ مُنْتَظِمٍ بِسَبَبِ الغازاتِ الَّتي تَرْتَفِعُ إِلَيهِ مِنَ الدّاخِلِ. وَكَثيرًا ما تَنْدَلِعُ مِنْ هٰذا السَّطْحِ سُحُبٌ مِنَ الغازِ المُتَوَهِّجِ تُعْرَفُ بِالشُّواظاتِ الشَّمْسِيَّةِ وَتُشاهَدُ هٰذِهِ الشُّواظاتُ بِوُضوحٍ أَثناءَ الكُسوفِ الشَّمْسِيِّ. وَهٰذا يَحْدُثُ عِنْدَما يَمُرُّ القَمَرُ بَيْنَ الشَّمْسِ وَالأَرضِ فَيَحْجُبُ ضَوْءَ الشَّمْسِ.

تَدورُ الشَّمْسُ عَلى مِحْوَرِها مَرَّةً كُلَّ ٢٥ يومًا. وَيَقيسُ العُلَماءُ هٰذِهِ الحَرَكَةَ بِمُراقَبَةِ حَرَكَةِ بُقَعٍ مُظْلِمَةٍ كَبيرَةٍ عَلى سَطْحِ الشَّمْسِ تُعْرَفُ بِالكُلَفِ الشَّمْسِيَّةِ. وَتَظْهَرُ هٰذِهِ البُقَعُ مُظْلِمَةً لِأَنَّها أَبرَدُ مِمّا يُحيطُ بِها بِمِقْدارِ ٢٠٠٠ دَرَجَةٍ مِئَوِيَّةٍ. وَيُرافِقُ الكُلَفَ الشَّمْسِيَّةَ بُقَعٌ لامِعَةٌ تُدعَى الصَّياخِدَ بِالإِضافَةِ إِلى تَأَجُّجاتٍ

الإكليل

فوتوسفير

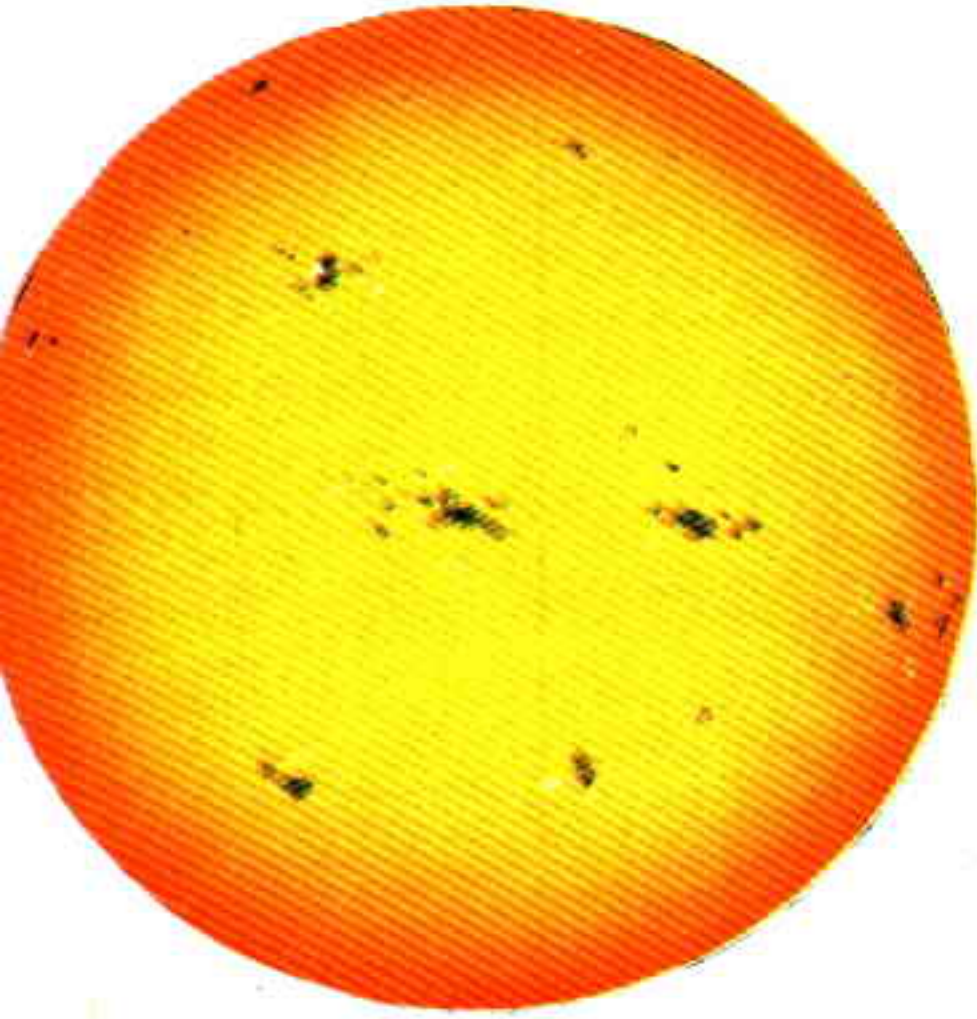
كروموسفير

فوقُ

كُسوفٌ كُلِّيٌّ لِلشَّمسِ وَقَدْ حَجَبَ القَمَرُ قُرصَها تَمامًا فَلا يُشاهَدُ سوى الغازِ المُحيطِ بِهِ. وَيَتَأَلَّفُ هٰذا الغازُ مِنْ طَبَقَةٍ نَيِّرَةٍ داخِلِيَّةٍ تُدعَى الكروموسفير وَيَبْلُغُ عَرْضُها عِدَّةَ آلافٍ مِنَ الكيلومِترات. أَمّا طَبَقَةُ الغازِ الخارِجِيَّةُ فَإِنَّها تُدعى الإِكْليلَ وَهِيَ شَديدَةُ الحَرارَةِ وَتُشاهَدُ كَهالَةٍ لُؤْلُؤِيَّةٍ تَمْتَدُّ إِلى مَلايينِ الكيلومِتراتِ مِنَ الشَّمْسِ.

إلى اليمين

مَنْظَرٌ رائِعٌ لِشُواظٍ شَمْسِيٍّ صُوِّرَ في أثناءِ كُسوفٍ كُلِّيٍّ لِلشَّمْسِ. وَقَدْ بَلَغَ ارْتِفاعُ الشُّواظِ ٢٢٤٠٠٠ كيلومتر فَوقَ سَطْحِ الشَّمْسِ (الفوتوسفير). وَتَبْدو الأَرْضُ في خَلْفِيَّةِ الصُّورَةِ لِلمُقارَنَةِ.

فوق

قُرصُ الشَّمْسِ وَقَدْ ظَهَرَتْ عَلَيهِ البُقَعُ الشَّمْسِيَّةُ والضَّباحِدُ. لاحِظْ أَنَّ مَركَزَ البُقْعَةِ المُسَمَّى الظِّلَّ أَشَدُّ سَوادًا وَهُوَ بالتَّالي أَكْثَرُ بُرودَةً مِنَ الحِتارِ المُسَمَّى شِبْهَ الظِّلِّ. تُقَدَّرُ دَرَجَةُ الحَرارَةِ في مِنْطَقَةِ الظِّلِّ بِحوالى ٤٢٠٠ دَرَجَةٍ مِئَوِيَّةٍ بَيْنَما تُقَدَّرُ دَرَجَةُ الحَرارَةِ في مِنْطَقَةِ شِبْهِ الظِّلِّ الأَكْثَرِ سُطوعًا بِحوالى ٦٠٠٠ دَرَجَةٍ مِئَوِيَّةٍ.

إلى اليمين

إِسْقاطُ صُورَةٍ لِلشَّمْسِ بِواسِطَةِ المِرْقَبِ. وَجِّهِ المِرقَبَ بِاتِّجاهِ الشَّمْسِ **وَإِيّاكَ أَنْ تَنْظُرَ فيه مُباشَرَةً**، بَلْ راقِبْ ضَبْطَهُ وَأَنْتَ تَنظُرُ بِمُؤَخَّرِ العَيْنِ مِن طَرَفِهِ المُواجِهِ لِلشَّمْسِ. اُضْبُطْ وَضْعَ المِرْقَبِ لِتَحْصُلَ عَلى صُورَةٍ مُحَدَّدَةِ المَعالِمِ عَلى قِطْعَةِ الكَرتونِ البَيْضاءِ المُثَبَّتَةِ عَلى بُعدِ سَنْتيمتراتٍ قَليلَةٍ مِنَ المِرْقَبِ، وَقَدْ تَحْتاجُ إلى تَحْريكِ حامِلِ قِطْعَةِ الكَرتونِ أَمامًا أو خَلْفًا لِتَحْقيقِ ذلِكَ. ثُمَّ ارْسُمِ الكُلَفَ الشَّمْسِيَّةَ الَّتي تُشاهِدُها عَلى قِطْعَةِ الوَرَقِ. وَإِذا اسْتَطَعْتَ فَكَرِّرْ ذلِكَ بَعْدَ فَتْرَةٍ لِتَرى دَليلًا واضِحًا عَلى دَوَرانِ الشَّمْسِ حَوْلَ نَفْسِها.

عَظيمَةٍ في جَوِّ الشَّمْسِ تُعْرَفُ بِالانْدِلاعاتِ. وَهٰذِهِ الانْدِلاعاتُ الشَّمْسِيَّةُ تَدومُ لِفَتْرَةٍ قَصيرَةٍ فَقَطْ، لكِنَّ مَنْظَرَها رائِعٌ حقًّا. وفي مَدى ١١ سَنَةً يَتَزايَدُ عَدَدُ الكُلَفِ الشَّمْسِيَّةِ حتَّى يَصِلَ حَدَّهُ الأَقْصى ثُمَّ تَتَناقَصُ ثانِيَةً وَتُعْرَفُ هٰذِهِ الظَّاهِرَةُ بِدَوْرَةِ الكُلَفِ الشَّمْسِيَّةِ. وَعِنْدَما يَصِلُ عَدَدُ الكُلَفِ إلى الحَدِّ الأدنى تَبْدَأُ الدَّوْرَةُ ثانِيَةً. وَيُرافِقُ فَتْرَةَ الذُّرْوَةِ في عَدَدِ الكُلَفِ تَزايُدٌ في عَدَدِ الانْدِلاعاتِ الشَّمسِيَّةِ وَلَمَعانِها. تُشَوِّشُ هٰذِهِ الانْدِلاعاتُ عَلى البَثِّ الإِذاعِيِّ وَتُعَطِّلُ انْتِقالَ الإِشاراتِ اللَّاسِلْكِيَّةِ حَوْلَ سَطْحِ الكُرَةِ الأَرضِيَّةِ.

يَتَبايَنُ حَجْمُ الكُلَفِ الشَّمْسِيَّةِ وَقَدْ يَبْلُغُ قُطْرُ بَعْضِ الكِبارِ مِنْها عِدَّةَ أَضْعافِ قُطْرِ الأَرْضِ، وَهٰذِهِ يُمكِنُ مُراقَبَتُها بِالعَيْنِ المُجَرَّدَةِ. وَأَفْضَلُ طَريقَةٍ لِمُشاهَدَةِ الكُلَفِ هُوَ بِإِسْقاطِ صُورَةٍ لِلشَّمْسِ بِواسِطَةِ مِرْقَبٍ (تلسكوب) عَلى قِطْعَةِ كَرتونٍ بَيْضاءَ. **وَإِيّاكَ والتَّطَلُّعَ مُباشَرَةً الى الشَّمْسِ بِمِرْقَبٍ أَوْ حَتّى بِنَظّاراتٍ سَوْداءَ** فَالحَرارَةُ وَالضَّوْءُ المُرَكَّزانِ عَلى العَيْنِ قَد يُتْلِفانِها.

اَلنِّظامُ الشَّمْسِيُّ

كوبرنيكس

فوقَ

وُلِدَ نيكولاس كوبرنيكُس في بولونيا عامَ ١٤٧٣ . وَدَخَلَ سِلْكَ الكَهَنوتِ ، لكِنَّهُ كانَ دومًا مُولَعًا بِالرِّياضيّاتِ وَالفَلَكِ . أدرَكَ كوبرنيكس أنَّ الأرضَ تَدورُ حَولَ نَفسِها وأنَّها أيضًا تَدورُ في فَلَكٍ حَولَ الشمسِ . تُعْرَفُ نَظَرِيَّتُهُ هٰذِهِ بِنِظامِ مَرْكَزِيَّةِ الشَّمسِ أو نِظامِ كوبرنيكُس . وَقَدْ تُوُفِّيَ عامَ ١٥٤٣ .

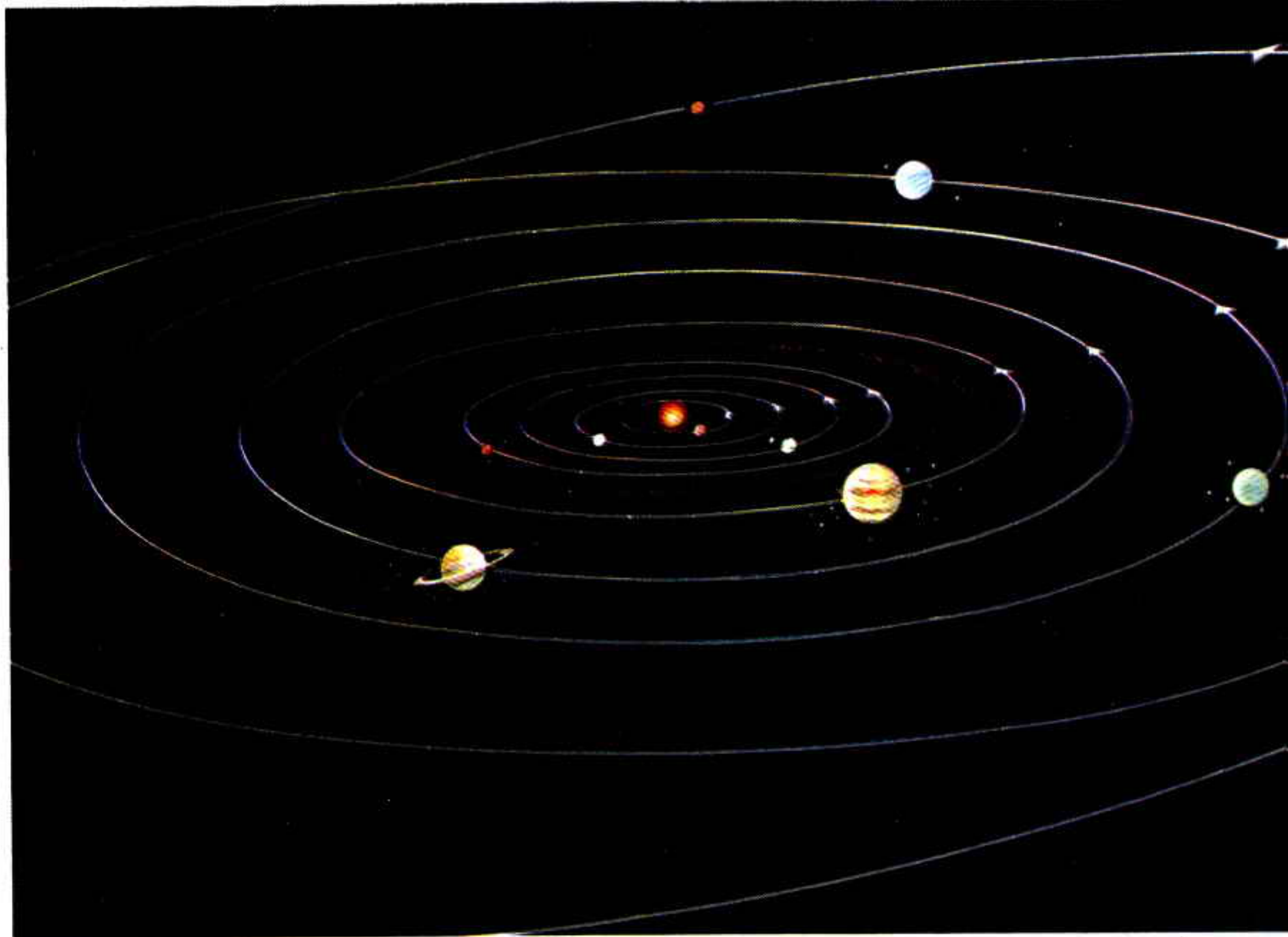
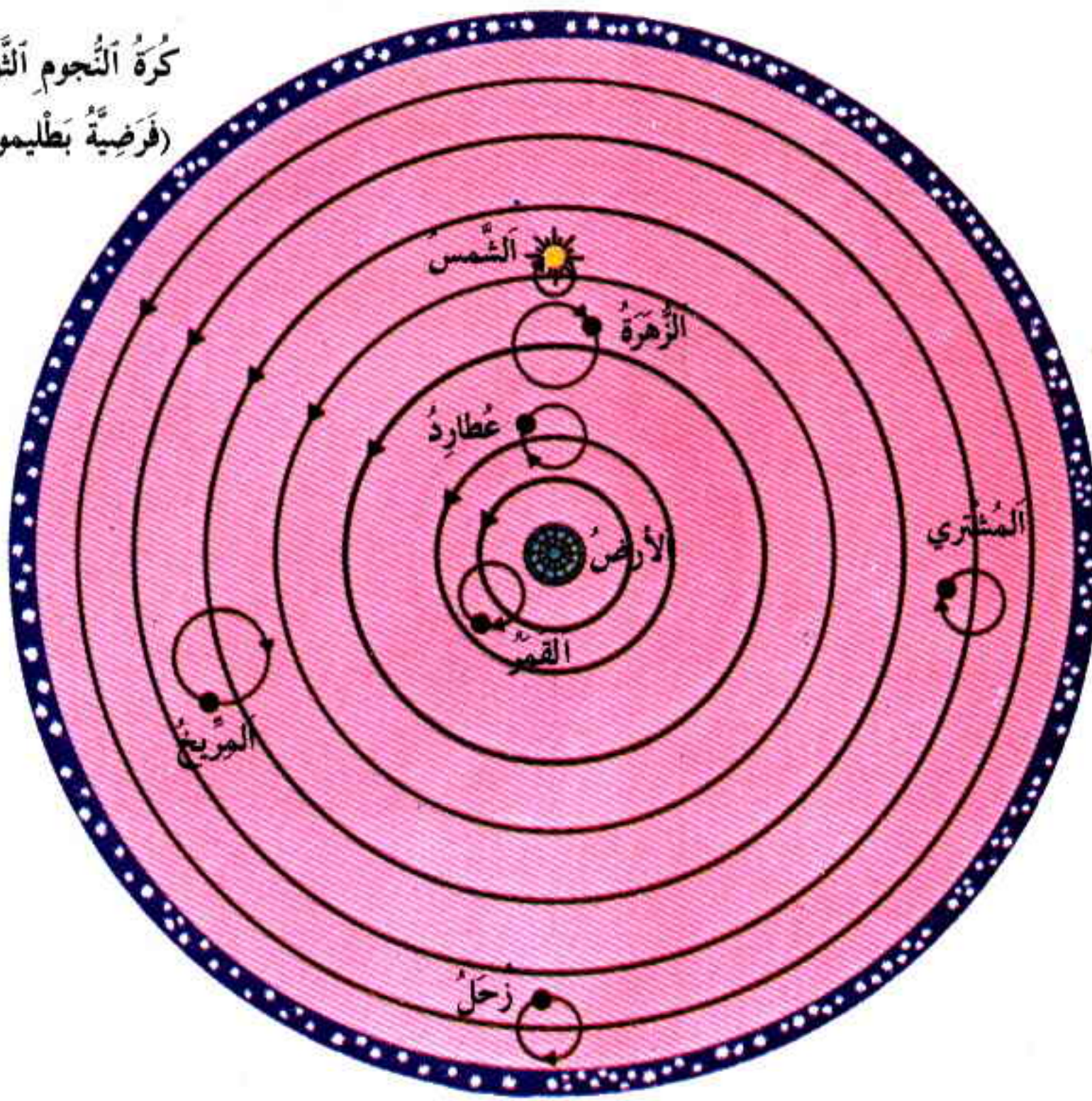
تَسيرُ الشَّمسُ عَبْرَ الفَضاءِ وَيُواكِبُها عَدَدٌ كَبيرٌ مِنَ الأَجْسامِ ، وَتُعْرَفُ المَجْموعَةُ كُلُّها بِالنِّظامِ الشَّمْسِيِّ . أَمّا أَكبَرُ أَفرادِ هٰذِهِ المَجْموعَةِ المُواكِبَةِ وَأَهَمُّها فَهِيَ الكَواكِبُ السَّيّارَةُ . وَهُناكَ تِسْعَةُ كَواكِبَ سَيّارَةٍ أَحَدُها الأرضُ . وَالكَواكِبُ هٰذِهِ تَدورُ حَولَ الشَّمْسِ في مَداراتٍ دائِرِيَّةٍ تَقْرِيبًا . وَهُناكَ أَجسامٌ أَصْغَرُ تَدورُ حَولَ الشَّمسِ وَهِيَ الكُوَيكِباتُ (السَّيّاراتُ الصُّغْرى) وَالمُذَنَّباتُ وَالنَّيازِكُ .

كانَ الفَلَكِيّونَ الأَقْدَمونَ يَعْتَقِدونَ أَنَّ الأَرضَ مُسَطَّحَةٌ ، مَعَ أَنَّ بَعْضَ مُفَكِّري اليونانِ كَأَرِسْطو (٣٨٤ – ٣٢٢ قَبْلَ الميلادِ) قالوا بِاسْتِدارَتِها . وكانَ الاعتِقادُ السّائِدُ أَنَّ الأرضَ هِيَ مَركَزُ الكَونِ ، وأَنَّ الأَجْسامَ السَّماوِيَّةَ الأُخْرى – الشَّمسَ وَالقَمرَ وَالسَّيّاراتِ وَالنُّجومَ – تَدورُ حَولَها ، وَيُعرَفُ هٰذا الاعتِقادُ بِنَظَرِيَّةِ مَرْكَزِيَّةِ الأرضِ لِلكَونِ . وَقَدْ دَعَمَ هٰذِهِ النَّظَرِيَّةَ الفَلَكِيُّ بَطْليموس (القرن الثاني بَعْدَ الميلادِ) وأَخَذَ بِها أَكثَرُ النّاسِ وَبَيْنَهُمْ زُعَماءُ الدِّينِ مُدَّةً تَزيدُ عَلى ١٠٠٠ سَنَةٍ .

وكان نيكولاس كوبرنيكس (١٤٧٣ – ١٥٤٣) أَوَّلَ مَنْ خَطَّأَ نَظَرِيَّةَ مَركَزِيَّةِ الأرضِ لِلكَوْنِ قائِلًا إِنَّ الشَّمْسَ ، لا الأرضَ ، هِيَ مَركَزُ الكَونِ . لكِنَّ نَظَرِيَّتَهُ ، نَظَرِيَّةَ مَركَزِيَّةِ الشَّمس ، جُوبِهَتْ بِمُعارَضَةٍ عَنيفَةٍ ، وَعَلى الأَخَصِّ مِنَ المُتَدَيِّنينَ بِأَسبابٍ دِينِيَّةٍ . لَقَدْ كانَ الاعتِقادُ السّائِدُ أَنَّ الأرضَ هِيَ أَهَمُّ جِرْمٍ في السَّماءِ وَلِذا فَهِيَ مَركَزُ الكَونِ . وَقَدْ حُبِسَ الفَلَكِيُّ غاليليو بِأَمرٍ مِنْ رِجالِ الكَنيسَةِ وَأُجْبِرَ عَلى التَّراجُعِ عَنِ اعْتِقادِهِ بِأَنَّ الشَّمسَ هِيَ مَركَزُ الكَونِ . ثُمَّ جاءَ يوهانِّس كِپلر يَدْعَمُ رأيَ كوبرنيكَس فدلَّ بِالبُرهانِ عَلى أَنَّ الأرضَ وَالسَّيّاراتِ الأُخرى تَدورُ حَولَ الشَّمسِ . وَتَبَيَّنَ أَنَّ حَرَكَةَ النُّجومِ لا عَلاقَةَ لَها بِالشَّمسِ ، فَالشَّمْسُ هِيَ مَركَزُ النِّظامِ الشَّمْسِيِّ ، وَلَيْسَتْ مَركَزَ الكَونِ . فَمِنْ شِبْهِ المُؤَكَّدِ أَنَّ هُناكَ شُموسًا أُخرى كَثيرَةً وَلِكُلٍّ مِنْها نِظامُها الشَّمْسِيُّ الخاصُّ بِها .

وَبِفَضْلِ الأَرصادِ المُفَصَّلَةِ الَّتي أَجراها الفَلَكِيُّ الدّانِمَرْكِيُّ تيخو براهي اسْتَطاعَ كِپلر تِبيانَ أَنَّ مَداراتِ الكَواكِبِ السَّيّارَةِ إِهْليلَجِيَّةٌ (بَيضاوِيَّة) نَوعًا وَلَيْسَتْ دائِرِيَّةً . وَيَدورُ الكَوكَبُ السَّيّارُ في المَدارِ الإِهْليلَجِيِّ بِحَيْثُ الشَّمسُ إِحْدى بُؤْرَتَيْهِ . وَالوَقْتُ الَّذي يَسْتَغْرِقُهُ الكَوكَبُ السَّيّارُ في الدَّورانِ مَرَّةً حَولَ الشَّمسِ يُسَمّى سَنَةً وَطولُ السَّنَةِ يَخْتَلِفُ لِكُلِّ سَيّارٍ . فَالكَوكَبُ القَريبُ مِنَ الشَّمسِ سَنَتُهُ أَقْصَرُ مِنْ سَنَةِ السَّيّارِ الأَبعَدِ .

إلى اليَمين

النِّظامُ الشَّمسِيُّ وفيهِ الكَواكِبُ وَالكُوَيكِباتُ السَّيّارَةُ . أَحْجامُ الكَواكِبِ السَّيّارَةِ بِالمُقابَلَةِ مَعَ الأرضِ مَضْبوطَةٌ تَقريبًا . لكِنَّ المَفروضَ أَنْ تَكونَ مَداراتُ السَّيّاراتِ الأَربَعِ الخارِجِيَّةِ أَكبَرَ كَثيرًا فَپْلوتو أَبعَدُ ١٠٠ مَرَّةٍ عَنِ الشَّمسِ مِنْ عُطارِدَ . أَمّا أَسْماءُ السَّيّاراتِ فَهِيَ بِحَسَبِ بُعْدِها عَنِ الشَّمسِ : عُطارِدُ ، الزُّهَرَةُ ، الأرضُ ، المِرِّيخُ ، المُشْتَري ، زُحَلُ ، أورانوسُ ، نِپتون ، وَپْلوتو ، ويتداخَلُ مَدارا پلوتو ونِپتون في جُزْءٍ مِن مَسارَيْهِما . وَتَقَعُ الكُوَيكِباتُ بَينَ مَدارَي المِرِّيخِ وَالمُشْتَري .

أمّا سَنَةُ ٱلأرضِ فَهِيَ ١/٤ ٣٦٥ يومًا، لِذٰلِكَ ٱتُّخِذَتِ ٱلسَّنَةُ ٱلعادِيَّةُ ٣٦٥ يومًا وَٱلسَّنَةُ ٱلكَبِيسَةُ ٣٦٦ يومًا كُلَّ أربعِ سَنَواتٍ لِتَعْويضِ رُبْعِ ٱليَوْمِ.

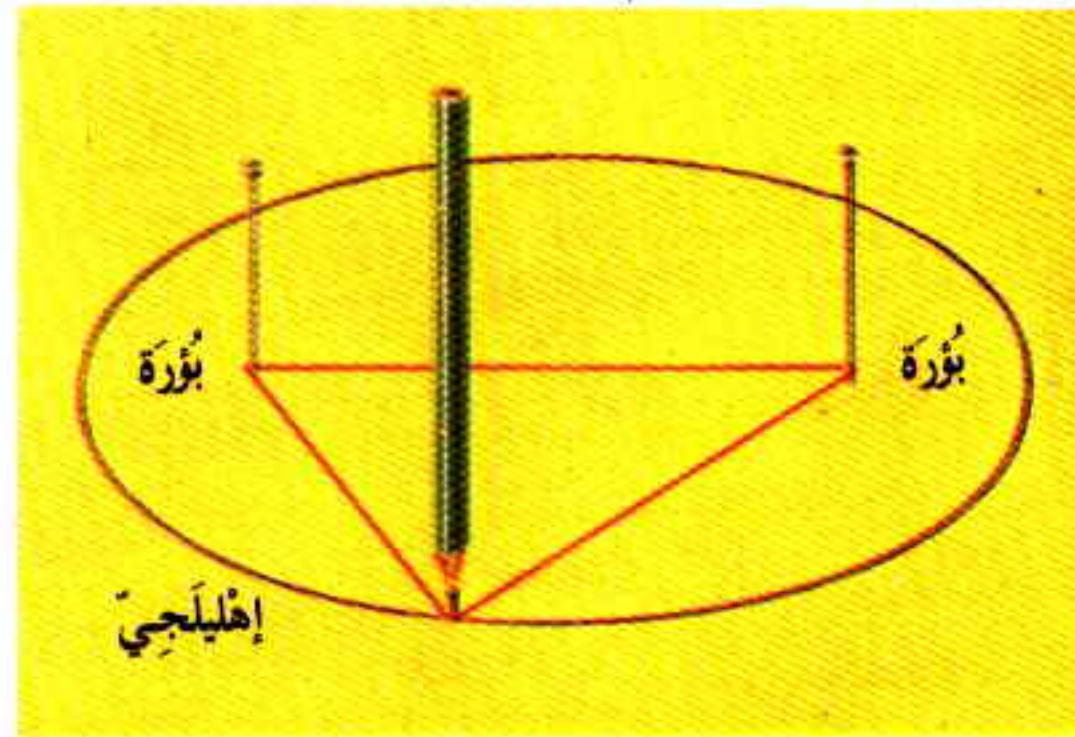
وَمَعَ دَورانِ ٱلكَوكَبِ في مَدارِهِ ٱلإهْليلَجِيِّ يُدَوِّمُ في نَفْسِ ٱلوَقْتِ كَالدُّوّامةِ على مِحْوَرِهِ. وَيُسَمّى ٱلوَقْتُ ٱلّذي يَسْتَغْرِقُهُ ٱلكَوكَبُ لِيَدورَ مَرَّةً حَولَ نَفْسِهِ يومًا. وَيَخْتَلِفُ طُولُ ٱليومِ بِٱخْتِلافِ ٱلكَوكَبِ، فَيومُ ٱلأرضِ يُساوي ٢٣ ساعةً و٥٦ دقيقةً. فَعِندَما يُواجِهُ مكانٌ ما عَلى ٱلكَوكَبِ ٱلشَّمسَ يَكونُ نَهارٌ هُناكَ، وَعِندَما يَتَحَوَّلُ عَنِ ٱلشَّمسِ يكونُ لَيلٌ. وَدَورانُ ٱلأرضِ حَولَ نَفْسِها هُوَ ٱلسَّبَبُ في ٱلحَرَكَةِ ٱلظّاهِرِيَّةِ لِلشَّمسِ وَٱلنُّجومِ عَبْرَ ٱلسَّماءِ. وَتَدورُ ٱلأرضُ حَوْلَ مِحْوَرٍ وَهْمِيٍّ يَمُرُّ في ٱلقُطْبِ ٱلشَّمالِيِّ وَٱلقُطْبِ ٱلجَنوبِيِّ، وَهٰذا ٱلمِحْوَرُ يَميلُ بِمِقْدارِ ١/٢ ٢٣ دَرَجَة عَنْ مُسْتَوى مَدارِ ٱلأرضِ. هٰذا ٱلمَيَلانُ يُسَبِّبُ ٱلفُصولَ ٱلأربَعَةَ وَيُعْطينا ٱلنَّهاراتِ ٱلطَّويلَةَ ٱلحامِيَةَ وَٱللَّيالِيَ ٱلقَصيرَةَ في ٱلصَّيفِ وَٱلنَّهاراتِ ٱلقَصيرةَ ٱلبارِدَةَ وَٱللَّيالِيَ ٱلطَّويلَةَ في ٱلشِّتاءِ.

فَوقُ

نَظَرِيَّةُ مَرْكَزِيَّةِ ٱلأرضِ. اِفْتَرَضَ بَطْليموس أنَّ ٱلأرضَ هِيَ مَرْكَزُ ٱلكَونِ وَأنَّ ٱلشَّمسَ وَٱلقَمَرَ وَٱلسَّيّاراتِ تَدورُ حَولَ ٱلأرضِ في أفلاكٍ دائِرِيَّةٍ. أمّا ٱلنُّجومُ فَٱعْتُبِرَتْ ثابِتَةً في مَكانِها عَلى كُرَةٍ خارِجِيَّةٍ. وَكانَ يُعْتَقَدُ أنَّ ٱلسَّيّاراتِ تَدورُ في دَوائِرَ صَغيرَةٍ مُتَمَرْكِزَةٍ عَلى ٱلفَلَكِ ٱلدّائِريِّ.

إلى ٱليَمينِ

أثْبَتَ كِبلِر (١٥٧١ - ١٦٣٠) أنَّ ٱلكَواكِبَ ٱلسَّيّارَةَ تَدورُ في أفلاكٍ إهْليلَجِيَّةٍ حَولَ ٱلشَّمسِ. وَيُمكِنُكَ رَسْمُ إهْليلَجِيٍّ بِلَفِّ خَيطٍ حَولَ مِسْمارَيْنِ. شُدَّ ٱلخيطَ بِقَلَمِ رَصاصٍ وَحَرِّكِ ٱلقَلَمَ حَولَ ٱلمِسْمارَيْنِ، فَتَحْصُلَ عَلى شَكْلٍ إهْليلَجِيٍّ لَهُ بُؤرَةٌ عِنْدَ كُلِّ مِسمارٍ.

إلى ٱليَمينِ

مَدارُ ٱلأرضِ. يَظَلُّ مَيَلانُ المحور ثابتًا طَوالَ ٱلسَّنَةِ. فَفي حَزيرانَ يُواجِهُ ٱلقُطبُ ٱلشَّمالِيُّ ٱلشَّمسَ فَيكونُ صَيفٌ في نِصْفِ ٱلكُرَةِ ٱلشَّمالِيِّ وشتاءٌ في ٱلنِّصْفِ ٱلجَنوبِيِّ. وفي كانونَ ٱلأوّلِ يُواجِهُ ٱلقُطبُ ٱلجَنوبِيُّ ٱلشَّمسَ فيكونُ صَيفٌ في نِصْفِ ٱلكُرَةِ ٱلأرضِيَّةِ ٱلجَنوبِيِّ وَشِتاءٌ في نِصْفِها ٱلشَّمالِيِّ.

اَلكَواكِبُ اَلسَّيّارَةُ

تَدورُ تِسْعُ سَيّاراتٍ حَولَ اَلشَّمسِ في الاتِّجاهِ نَفْسِهِ. وَأقربُ كَوكَبٍ سَيّارٍ مِنَ اَلشَّمسِ هُوَ عُطارِدُ، وَيليهِ اَلزُّهَرَةُ ثُمَّ اَلأرضُ فَاَلمِرِّيخُ فَاَلمُشْتَري فَزُحَلُ فَأورانوس فَنِبتون وَأخيرًا پلوتو. وَقَدْ عَرفَ عُلَماءُ اليونانِ وَاَلعَرَبُ اَلأقدَمونَ اَلكَواكِبَ اَلسِّتَّةَ اَلأولى وَلَمْ يُكْتَشَفْ نِبتون إلّا عامَ ١٨٤٦ وَپْلوتو عامَ ١٩٣٠ بِسَبَبِ بُعْدِهِما اَلكبيرِ. وَلَقَدْ تَنَبَّأَ اَلعُلَماءُ بِوُجودِ هٰذَيْنِ اَلكَوكَبَيْنِ قَبلَ أنِ اَكْتُشِفا فِعْلًا، وَيَعْتَقِدُ اَلفَلَكِيّونَ بِاَحْتِمالِ وُجودِ كَوكَبٍ عاشِرٍ وَراءَ پْلوتو.

وَاَلكَواكِبُ اَلأرْبَعَةُ اَلأُولى وَپلوتو مُتقارِبَةُ اَلأحْجامِ. أمّا اَلمُشْتَري وَزُحَلُ وَنِبتون فَإنَّها أكبَرُ بِكَثيرٍ وَتُدعَى اَلكَواكِبَ اَلكَبيرَةَ. أمّا دَرَجَةُ اَلحَرارَةِ عَلى سَطْحِ اَلكَوكَبِ فَإنَّها تَتَوَقَّفُ عَلى بُعدِهِ مِنَ اَلشَّمسِ. فَاَلكَواكِبُ اَلكَبيرَةُ وَپلوتو شَديدَةُ اَلبُرودَةِ. أمّا عُطارِدُ فَتَصِلُ دَرَجَةُ حَرارَةِ اَلجانِبِ اَلَّذي يُواجِهُ اَلشَّمْسَ مِنْهُ أثناءَ اَلدَّورانِ ٤٠٠ دَرَجَةٍ مِئَوِيَّةٍ وَتكونُ في اَلجانِبِ اَلمُظْلِمِ أبرَدَ بِكَثيرٍ. وَيَعودُ اَلفَرْقُ في دَرَجَةِ اَلحَرارَةِ إلى أمْرَيْنِ أوَّلُهُما بُطْءُ دَوْرَةِ عُطارِدَ (يومُ عُطارِدَ يُساوي ٥٩ يومًا أرْضِيًّا) وَثانيهِما اَنْعِدامُ اَلجَوِّ. وَجَوُّ اَلكَوكَبِ هُوَ اَلغِلافُ اَلغازِيُّ اَلَّذي يُحيطُ بِهِ – وَجَوُّ الأرضِ هُوَ اَلهواءُ اَلَّذي نَتَنَشَّقُهُ. وَهٰذا اَلغِلافُ اَلغازِيُّ يَحْجِزُ بَعْضَ حَرارَةِ اَلشَّمسِ وَيَمْنَعُ حُدوثَ اَلتَّغَيُّراتِ اَلسَّريعَةِ في دَرَجَةِ اَلحَرارَةِ في أثناءِ دَورانِ اَلكَوكَبِ. وَيَحْتَوي هَواءُ اَلأرضِ غازاتِ اَلأوكْسِجين (نحو ٢١٪) وَاَلنِّتْروجين (نحو ٧٨٪). وَتُؤلِّف غازاتٌ أُخْرى أجْواءَ اَلكَواكِبِ اَلسَّيّارَةِ اَلأُخْرى. فَالاخْتِلافُ في اَلتَّكوينِ اَلجَوِّيِّ وَفي

فوق

اَلمِرِّيخُ وَقَمراهُ فوبُوس (إلى اَليسارِ) وَديمُوس. وَلَيْسَ لِلْمِرِّيخِ غِلافٌ غَيْمِيٌّ لِذا يُمكِنُ مُشاهَدَةُ سَطْحِهِ اَلأحْمَرِ بِسهولَةٍ. وَجَوُّهُ رَقيقٌ لِلغايَةِ يَتَألَّفُ في غالِبيَّتِهِ مِن ثاني أوكْسيدِ اَلكَربونِ وَيُغَطّي سَطْحَهُ عَدَدٌ مِنَ اَلفُوَّهاتِ اَلبُركانِيَّةِ صَوَّرَتْها اَلسَّوابِرُ اَلفَضائِيَّةُ (في اَلإطارِ صورَةٌ مُكَبَّرَةٌ لِبَعْضِها).

فوقُ إلى اَليَمينِ

وَجْهُ اَلزُّهَرَةِ اَلهِلالِيُّ. فَلِعُطارِدَ وَاَلزُّهَرَةِ أوجُهٌ كَاَلقَمَرِ لِوُقوعِهِما داخِلَ فَلَكِ اَلأرضِ. وَمِنَ اَلصَّعْبِ جِدًّا مُشاهَدَةُ عُطارِدَ، وَلٰكِنَّ اَلزُّهَرَةَ ألمَعُ اَلأجرامِ اَلسَّماوِيَّةِ لَيلًا، وَتَظْهَرُ إمّا في اَلمَساءِ أو في اَلصَّباحِ اَلباكِرِ. وَتَلُفُّ اَلزُّهَرَةَ طَبَقَةٌ كَثيفَةٌ مِنَ اَلغُيومِ تَحْجُبُ سَطْحَها.

إلى أسفَلِ اَليَمينِ

مُذَنَّبُ هالي وَمَدارُهُ. هٰذا اَلمُذَنَّبُ اَلمُدْهِشُ يَدورُ حَولَ اَلشَّمسِ مَرَّةً كُلَّ ٧٦ سَنَةً وَسَيَظْهَرُ ثانِيَةً عامَ ١٩٨٦. عِنْدَما يَقْتَرِبُ مُذَنَّبٌ مِنَ اَلشَّمسِ يُصْبِحُ ذَنَبُهُ مَرْئِيًّا وَيكونُ اتِّجاهُ اَلذَّيلِ دائمًا بَعيدًا عَنِ اَلشَّمسِ.

اَلأرضُ (بالمقياسِ نفسِهِ)

حَلَقاتُ زُحَلَ

اَلمُشتَري

فَوْقُ

اَلمُشْتَري: لَيْسَ اَلمُشْتَري صُلْبًا كَالأرضِ وَيَبدو أنَّهُ يَتَأَلَّفُ في غالِبِيَّتِهِ مِنْ غازِ الهَيْدروجينِ. وَلا تُمكِنُ رُؤْيَةُ سَطْحِهِ لأنَّهُ مُغَطًّى دائِمًا بِأَحْزِمَةٍ نِطاقِيَّةٍ مِنَ الغُيومِ. وَهُناكَ بُقْعَةٌ ضَخْمَةٌ حَمْراءُ إهْليلجِيَّةٌ، بِقَدْرِ حَجْمِ الأرضِ تَقْريبًا، تُشاهَدُ وَسَطَ الغُيومِ وَلا يُعْرَفُ حَتّى الآنَ كُنْهُ هٰذِهِ البُقْعَةِ.

فَوقُ إلى اليسارِ

زُحَلُ وَحَلَقاتُهُ. هُناكَ شَبَهٌ كَبيرٌ بَيْنَ زُحَلَ وَالمُشْتَري فَكِلاهُما يَتَأَلَّفُ في غالِبِيَّتِهِ مِنَ الهَيْدروجينِ. وَلِزُحَلَ ثَلاثُ حَلَقاتٍ، وَتَبْلُغُ المَسافَةُ بَيْنَ الحَلْقَتَيْنِ الخارِجِيَّتَيْنِ أَكْثَرَ مِن ٢٧٠٠ كيلومترٍ.

تَحْتُ

فَجْوَةٌ نَيْزَكِيَّةٌ (أو رجمِيَّةٌ) في أريزونا عُمْقُها أَكْثَرُ من ١٨٠ مترًا وَقُطْرُها ١٢٠٠ مترٍ.

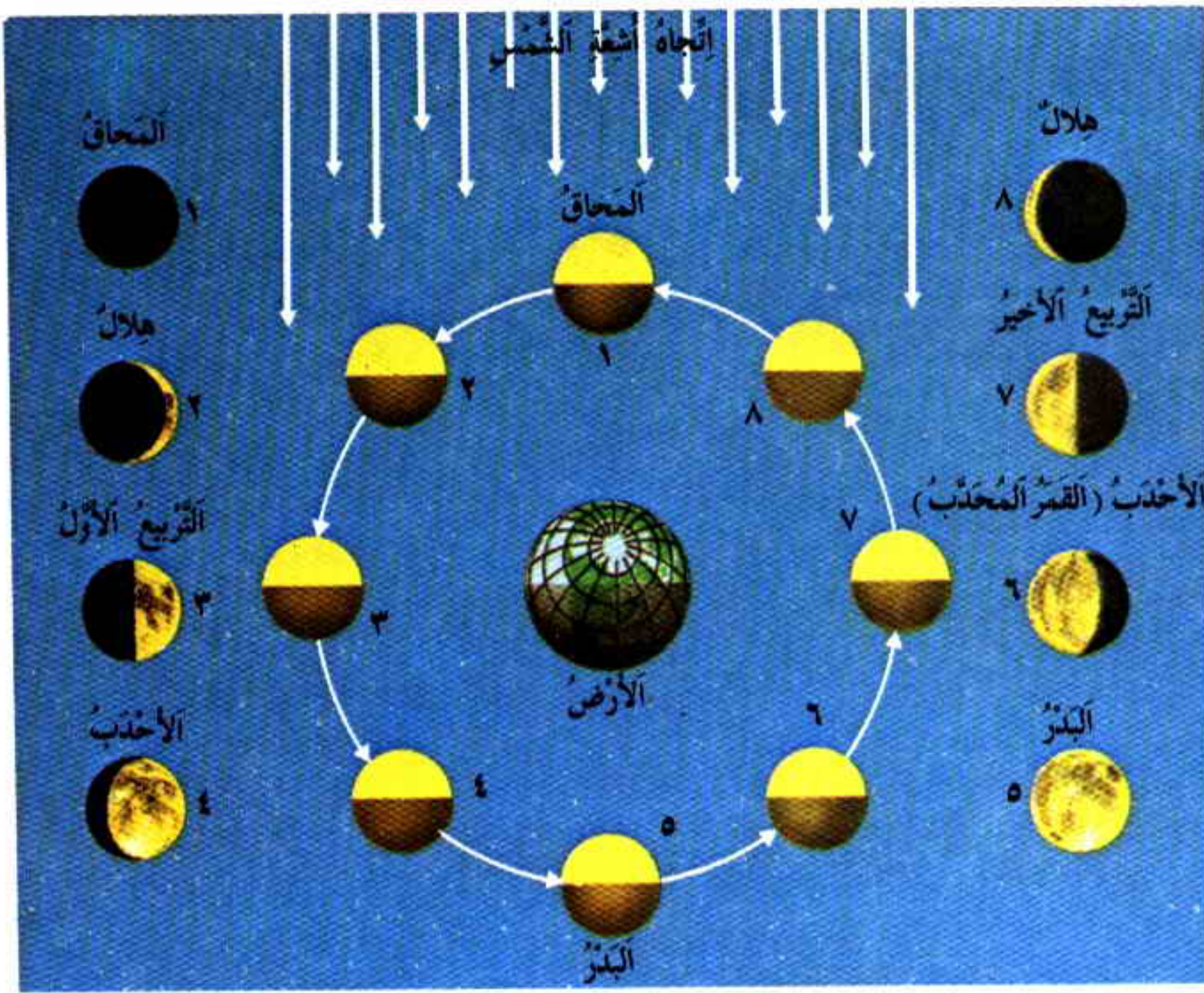
دَرَجاتِ الحَرارَةِ وَكَذٰلِكَ احْتِمالِيَّةُ عَدَمِ وُجودِ الماءِ عَلَيْها تَدُلُّ عَلى أنَّ الكَواكِبَ السَّيّارَةَ الأُخْرى بَعيدَةُ الشَّبَهِ بِالأرضِ وَالأرجَحُ أنَّها غَيْرُ مَأْهولَةٍ.

وَلِمُعْظَمِ الكواكِبِ السَّيّارَةِ أجْسامٌ أصْغَرُ تَدورُ حَوْلَها تُدعَى أقمارًا أو تَوابِعَ. فَالقَمَرُ هُوَ تابِعُ الأرضِ وَلِلْمُشْتَري وَلِزُحَلَ وَلأورانوسَ عَدَدٌ أكبَرُ مِنَ الأقمارِ. وَقَدْ تَمَكَّنَ غاليلْيو مِنْ مُشاهَدَةِ الأقمارِ الأربَعَةِ الكَبيرَةِ لِلْمُشْتَري أوَّلَ مَرَّةٍ عامَ ١٦١٧. وَأغرَبُ مَعالِمِ الكَواكِبِ هِيَ حَلَقاتُ زُحَلَ وَهِيَ نِطاقاتٌ مُسَطَّحَةٌ مُؤَلَّفَةٌ مِن أجْسامٍ صَغيرَةٍ رُبَّما كانَتْ مِنَ الجَليدِ أوْ مِنْ فُتاتِ قَمَرٍ تَناثَرَتْ أجْزاؤُهُ.

وَالكُوَيكِباتُ أيضًا مِن أفرادِ النِّظامِ الشَّمسِيِّ. وَهِيَ قِطَعٌ كَبيرَةٌ مِنَ الصَّخْرِ تَدورُ حَولَ الشَّمسِ وَعلى الأخَصِّ بينَ مَدارَي المرِّيخِ وَالمُشْتَري. وَقَدْ اكْتُشِفَ أكْبَرُها «سيروس» عامَ ١٨٠١ وَيبلُغُ قُطْرُهُ ٦٣٠ كيلومترًا. وَيُحْتَمَلُ أنْ تكونَ الكُوَيكِباتُ بَقايا كَوكَبٍ تَفكَّكَ مِنْ زَمَنٍ بَعيدٍ. أمّا المُذَنَّباتُ فَهِيَ أجْسامٌ تَدورُ حَولَ الشَّمسِ في أفلاكٍ مُفْرِطَةِ الإهْليلَجِيَّةِ عادةً. وهٰذا يَعني أنَّها تَقْطَعُ مِرارًا عَبْرَ مَساراتِ الكَواكِبِ. وَعِنْدَ اقترابِها مِنَ الشَّمسِ تَمْتَدُّ أذنابُها وراءَها إلى مَلايينِ الكيلومتْراتِ وَتَكتَسِبُ تَأَلُّقًا وَإشْراقًا. يَدورُ حَولَ الشَّمسِ أيضًا قِطَعٌ صَغيرَةٌ مِنَ الصَّخْرِ رُبَّما كانَتْ بَقايا مُذَنَّباتٍ، فَإذا دَخَلَتْ هذهِ القِطَعُ جَوَّ الأرضِ تَحتَرِقُ الصَّغيرَةُ مِنْها، وَهِيَ المَعْروفَةُ بِالنَّيازِكِ، مُحْدِثَةً خُطوطًا لامِعَةً مِنَ الضَّوْءِ تُدعَى الشُّهُبَ. أمّا الكَبيرَةُ مِنْها، وَتُعْرَفُ بِالرُّجُمِ، فَيَصِلُ بَعْضُها إلى الأرضِ مُحدِثًا فَجَواتٍ مُتَبايِنَةَ الحَجْمِ.

جدْوَلُ السَّيّاراتِ في النِّظامِ الشَّمْسِيِّ:

السيّارُ	البُعْدُ عَنِ الشَّمسِ (بملايين الكيلومترات)	القُطْرُ (بِالكيلومتراتِ)	عَدَدُ الأقمارِ	السَّنَةُ (بِالتَّوقيتِ الأرضي)	اليَوْمُ (بِالتَّوقيتِ الأرضي)
عُطارِدُ	٥٨	٤٨٤٠	—	٨٨ يومًا	٥٩ يومًا
الزُّهَرَةُ	١٠٨	١٢٣٠٠	—	٢٢٥ يومًا	٢٤٤ يومًا
الأرضُ	١٥٠	١٢٧٥٦	١	٣٦٥ ١/٤ يومًا	٢٣ ساعةً ٥٦ دقيقةً
المرِّيخُ	٢٢٨	٦٧٩٠	٢	٦٨٧ يومًا	٢٤ ساعةً ٣٧ دقيقةً
المُشْتَري	٧٧٨	١٤٢٨٠٠	١٢	١٢ سنةً	٩ ساعاتٍ ٥٠ دقيقةً
زُحَلُ	١٤٢٧	١١٩٣٠٠	١٠	٢٩ ١/٢ سنةً	١٠ ساعاتٍ ١٤ دقيقةً
أورانوس	٢٨٧٠	٤٧١٠٠	٥	٨٤ سنةً	١٠ ساعاتٍ ٤٩ دقيقةً
نِبتون	٤٤٩٧	٤٤٨٠٠	٢	١٦٥ سَنَةً	١٥ ساعةً ٤٨ دقيقةً
بلوتو	٥٩٠٧	٥٩٠٠	—	٢٤٨ ١/٢ سَنَةً	٦ ١/٢ يوم

لاحِظْ أنَّ يَومَ الزُّهَرَةِ أطوَلُ مِنْ سَنَتِها.

اَلقَمَرُ

اَلقَمَرُ أقرَبُ جارٍ لَنا في اَلفَضاءِ وَأوَّلُ جِرْمٍ فَضائِيٍّ يَزورُهُ اَلإِنْسانُ. يَبْلُغُ مُعَدَّلُ بُعْدِ اَلقَمَرِ في مَدارِهِ حَوْلَ اَلأرضِ ٣٨٤٠٠٠ كيلومِتْرٍ، وهِيَ مَسافَةٌ ضَئيلَةٌ فَلَكِيًّا وَنَعْتَبِرُهُ عِنْدَ عَتَبَةِ اَلبابِ. في مدى ٢٧ يومًا يُكْمِلُ اَلقَمَرُ دَوْرَةً في فَلَكِهِ وَفي اَلمُدَّةِ نَفْسِها يُكْمِلُ دَورَةً عَلى مِحْوَرِهِ، لِذلِكَ يَظَلُّ نَفْسُ اَلوَجْهِ مِنْه في مُواجَهَةِ اَلأرضِ دائمًا.

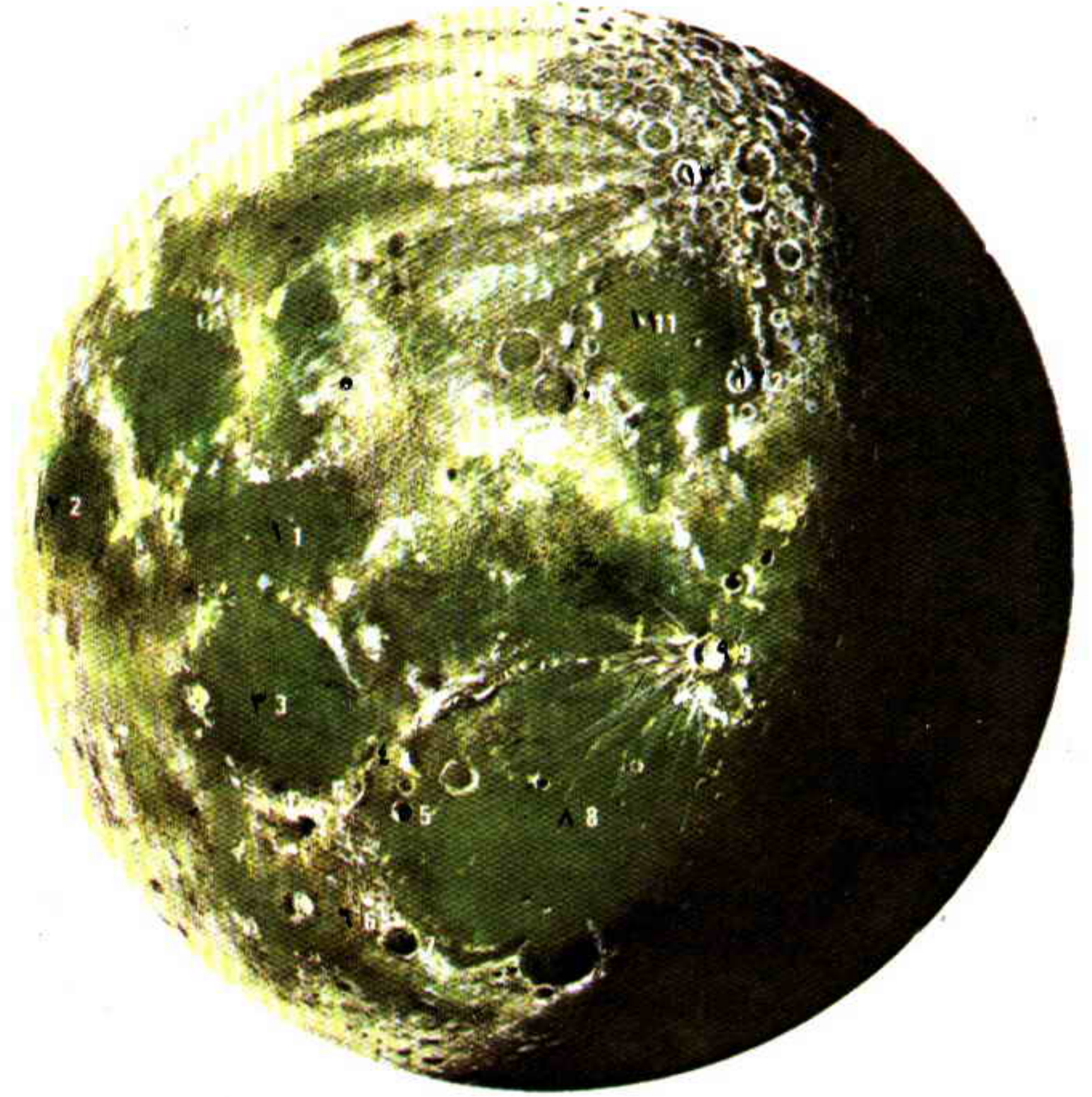
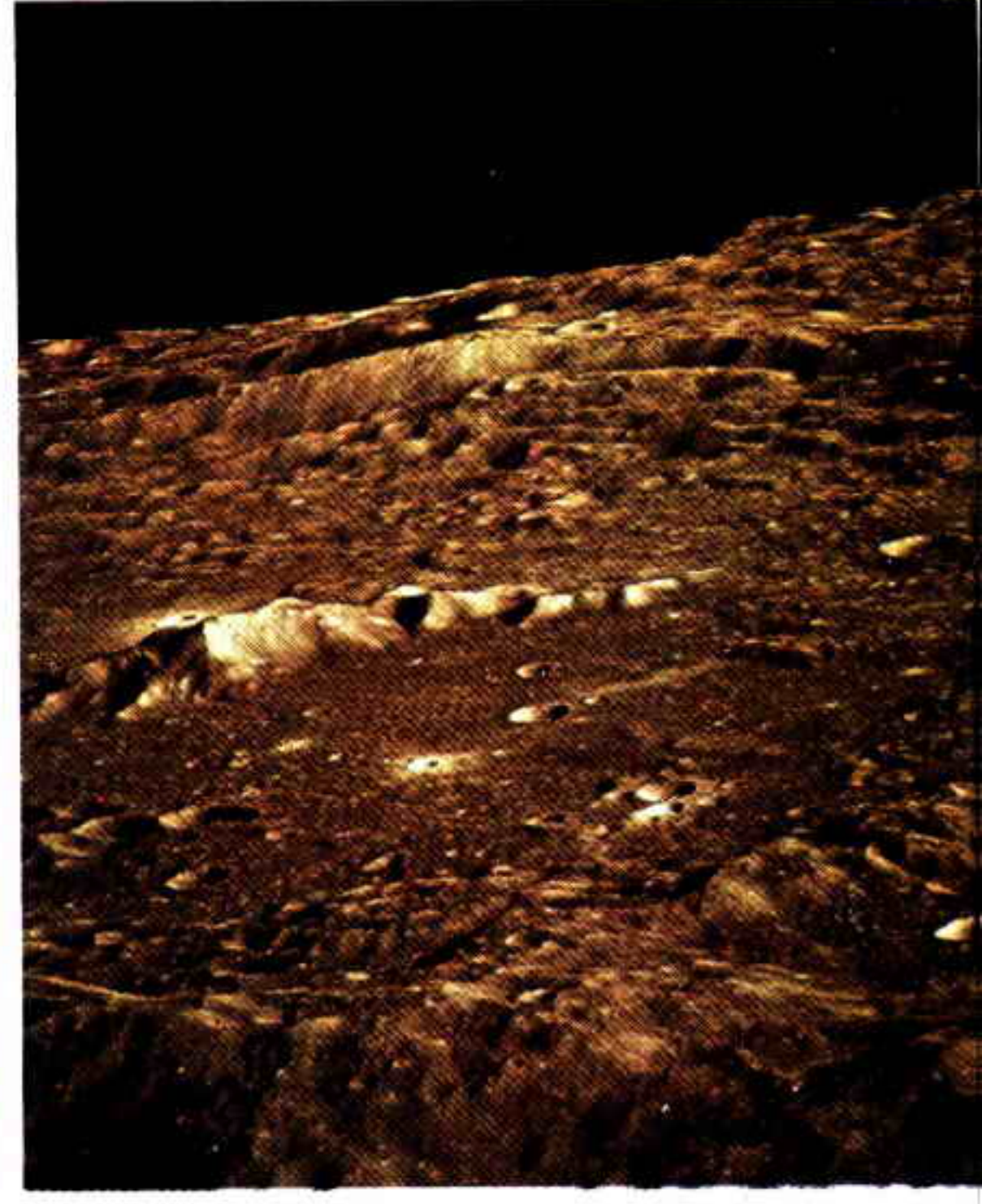
وَاَلقَمَرُ غَيْرُ مُنيرٍ بِذاتِهِ، وَهُوَ يُشْرِقُ لَيلًا بِفَضْلِ ما يعْكِسُهُ مِن ضَوْءِ اَلشَّمْسِ. وَعِنْدَما يَقَعُ اَلقَمَرُ بَيْنَ اَلأرضِ وَاَلشَّمسِ لا نَتَمكَّنُ مِنْ مُشاهَدَتِهِ، لكِنْ عِنْدَما يَنْتَقِلُ في مَدارِهِ، يَبدو أنَّهُ يَكْبُرُ وَيَتَغَيَّرُ شَكْلُهُ لِأَنَّ اَلشَّمسَ تُنيرُ اَلمَزيدَ مِنْهُ تَدْريجيًّا حَتّى يُصْبِحَ بَدْرًا، ثمَّ يأْخُذُ بِالتَّناقُصِ حَتّى يَخْتَفِيَ ثانِيَةً. وَتُدْعَى تِلْكَ اَلأشْكالُ اَلمُخْتَلِفَةُ أَوْجُهَ اَلقَمَرِ. وَاَلقَمَرُ اَلبَدْرُ اَلكامِلُ الاسْتِدارَةِ هُوَ أحَدُ اَلوُجوهِ. وَتَتَكَرَّرُ أوْجُهُ اَلقَمَرِ كُلَّ ٢٩ يومًا.

وَتَظْهَرُ عَلى اَلقَمَرِ بُقَعٌ داكِنَةٌ. وَكانَ غاليليو، أوَّلُ إنْسانٍ يَسْتَخْدِمُ اَلمِرْقَبَ، قَدْ ظَنَّها بِحارًا لأنَّها بَدَتْ مُسَطَّحَةً مُسْتَوِيَةً. وَهِيَ في اَلواقِعِ سُهولٌ جافَّةٌ مُتَّسِعَةٌ وَنَحْنُ لا نَزالُ نَدْعوها بِحارًا. وَاَلثّابِتُ هُوَ أنْ لَيسَ عَلى اَلقَمَرِ ماءٌ أو هَواءٌ، وَلَيسَ بِإِمْكانِ إنسانٍ اَلعَيْشُ هُناكَ إلّا إذا حَمَلَ مَعَهُ حاجَتَهُ مِنَ اَلهواءِ. وَظُروفُ اَلقَمَرِ لا تُشَجِّعُ عَلى اَلإقامَةِ فيهِ فَفي اَلنَّهارِ تَرْتَفِعُ دَرَجَةُ اَلحَرارَةِ في اَلجانِبِ اَلمُواجِهِ لِلشَّمسِ إلى ١٠٠ دَرَجَةٍ مِئَوِيَّةٍ، بَيْنَما تَهْبِطُ في اَللَّيلِ إلى ١٥٥ دَرَجَةً مِئَوِيَّةً تَحْتَ اَلصِّفْرِ. وَيَتَساوى اَللَّيلُ وَاَلنَّهارُ في اَلقَمَرِ وَيدومُ كُلٌّ مِنْهُما ١٤ يومًا أرْضِيًّا.

أمّا سَطْحُ اَلقَمَرِ فَهُوَ صَخْرِيٌّ وَوَعِرٌ لِلْغايَةِ. وَيُحيطُ بِالبِحارِ (اَلسُّهولِ) غالِبًا جِبالٌ عالِيَةٌ جِدًّا، وَيَبْلُغُ اَرْتِفاعُ أعلاها حَوالى ١٠٠٠٠ مِتْرٍ وَذلِكَ أعلى مِنِ اَرْتِفاعِ جَبَلِ إفرِسْت. وَهُناكَ أوْدِيَةٌ واسِعَةٌ وَشُقوقٌ صَغيرَةٌ تُدعَى حُزوزًا أو رِيلات.

وَتَنْتَشِرُ عَلى سَطْحِ اَلقَمَرِ آلافٌ مِنَ اَلفُوَّهاتِ اَلبُرْكانِيَّةِ يُراوِحُ حَجْمُها بَيْنَ فَجواتٍ صَغيرَةٍ وسُهولٍ

فَوْقُ

اَلقَمَرُ اَلأحْدَبُ كَما يَبدو في اَلمِرْقَبِ. مِنَ اَلمَعْلومِ أنَّ اَلمِرْقَبَ اَلفَلَكِيَّ يَقْلِبُ اَلأشياءَ رأسًا على عَقِبٍ جاعِلًا اَلشَّمالَ جَنوبًا وَاَلجَنوبَ شَمالًا (فَوقُ في اَلرَّسْمِ) كَما يَعْكِسُها جانِبِيًّا أيْضًا جاعِلًا اَلشَّرْقَ غَرْبًا. لاحِظِ اَلفُوَّهاتِ اَلبُرْكانِيَّةَ اَلمُتَعَدِّدَةَ وَاَلبِحارَ (اَلبُقَعَ اَلدّاكِنَةَ).

دليل الصورة

١ بَحْرُ اَلهُدوءِ	٦ جِبالُ اَلألب	١١ بَحْرُ اَلغُيوم
٢ بَحْرُ اَلأزَمات	٧ أفلاطون	١٢ غاسِندي
٣ بحر اَلصَّفاء	٨ بَحْرُ اَلهَمَرات	١٣ تايكو (تِيخو)
٤ اَلأَبنَين	٩ كوبرنيكس	
٥ أرِسْطو	١٠ بطليموس	

فَوْقُ إلى ٱليمينِ

يتوقَّفُ شكلُ ٱلقمرِ أو أوجُهُهُ على كمِّيَّةِ ضَوْءِ ٱلشَّمْسِ ٱلَّذي يَعْكِسُهُ ٱلقمرُ إلى ٱلأرضِ. فَعِنْدَما يكونُ ٱلقمرُ مَحاقًا لا يَعْكِسُ أيَّ مِنَ ٱلسَّطْحِ ٱلمتَّجِهِ نَحْوَ ٱلأرضِ ضوءًا. وَعِنْدَما يكونُ ٱلقمرُ بَدْرًا يَنْعَكِسُ ضَوءُ ٱلشَّمْسِ عن كُلِّ ٱلجانِبِ ٱلمتَّجِهِ نَحوَ ٱلأرضِ. راقِبْ أوجُهَ ٱلقمرِ ٱلمُخْتَلِفَةَ ٱلمُتَزايِدَةَ مِن هِلالٍ إلى بَدْرٍ ثُمَّ ٱلمُتَناقِصَةَ مِنْ بَدْرٍ إلى هِلالٍ.

فَوْقُ

مَنْظَرٌ لِجانِبِ ٱلقمرِ ٱلَّذي لا نُشاهِدُهُ أبدًا. وَقَدِ ٱلْتُقِطَتْ هٰذِهِ ٱلصُّورةُ مِنْ مَرْكَبَةِ ٱلفضاءِ أبوللو ١٠.

واسِعَةٍ تُحيطُ بِها سَلاسِلُ جِبالٍ. وَيَبْلُغُ قُطْرُ أكبرِ ٱلفُوَّهاتِ وَتُدعَى بيلي نحو ٣٠٠ كيلومترٍ، وَبَعْضُ ٱلفُوَّهاتِ يَصِلُ عُمْقُها إلى ٧٠٠٠ مِتْرٍ.

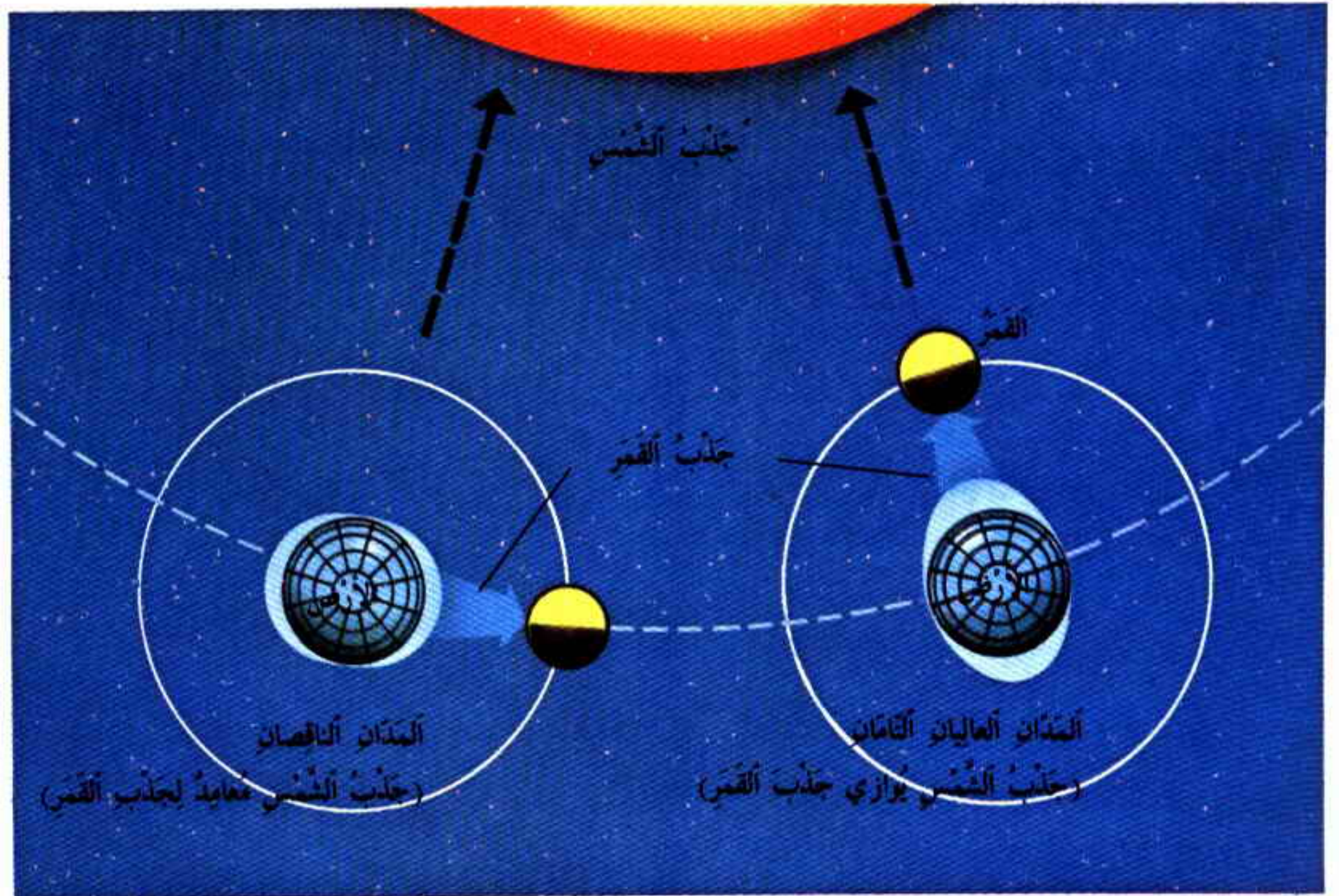
وَٱلقَمَرُ أصْغَرُ مِنَ ٱلأرضِ، إذ يَبْلُغُ قُطْرُهُ ٣٤٧٦ كيلومترًا (أكبر قليلاً من $\frac{1}{٤}$ قُطْرِ ٱلأرضِ) وَهُوَ أخَفُّ مِنْها بِحَوالى ٨١ مرَّةً. وَمعَ هٰذا فَٱلقَمَرُ ذو قُوَّةِ جَذْبٍ قَوِيَّةٍ تُؤَثِّرُ في بِحارِ ٱلأرضِ أثْناءَ دَوْرَتِهِ حَوْلَها. وشدُّ ٱلجاذِبِيَّةِ هٰذا (انظرْ صفحة ٦٠) يُسَبِّبُ ظاهِرَةَ ٱلمَدِّ وَٱلجَزْرِ ٱليَوْمِيَّةَ.

وَقَدْ أُطْلِقَ عَدَدٌ مِنَ ٱلصَّواريخِ حَوْلَ ٱلقَمَرِ وبَعْضُها هَبَطَ عَلَيْهِ. وفي عامِ ١٩٥٩ التَقَطَتْ مَرْكَبَةٌ فَضائِيَّةٌ روسِيَّةٌ لِأَوَّلِ مَرَّةٍ صُوَرًا لِلْجانِبِ ٱلآخَرِ من ٱلقَمَرِ ٱلَّذي لا نَتَمَكَّنُ من مُشاهَدَتِهِ. وَقَدْ هَبَطَ عَلى سَطْحِ ٱلقَمَرِ لِأَوَّلِ مَرَّةٍ فَضائِيُّونَ أَمريكيُّون عامَ ١٩٦٩ وَعادوا بِنَماذِجَ مِنْ تُرابِهِ وَصُخورِهِ عَكَفَ ٱلعُلَماءُ على دَرْسِها لِمَعْرِفَةِ ٱلمَزيدِ عَنْ عُمْرِ ٱلقَمَرِ وَتَرْكيبِهِ. وَيَعْتَقِدُ بَعْضُ ٱلعُلَماءِ أنَّ ٱلقَمَرَ تَكَوَّنَ في نَفْسِ ٱلوَقْتِ كَٱلأَرْضِ، وأنَّهُ لَمّا كانَ أصْغَرَ مِنْها أسَرَتْهُ فدارَ في فَلَكِهِ حَوْلَها وَأَصْبَحَ تابِعًا طَبيعِيًّا لَها.

فوقُ

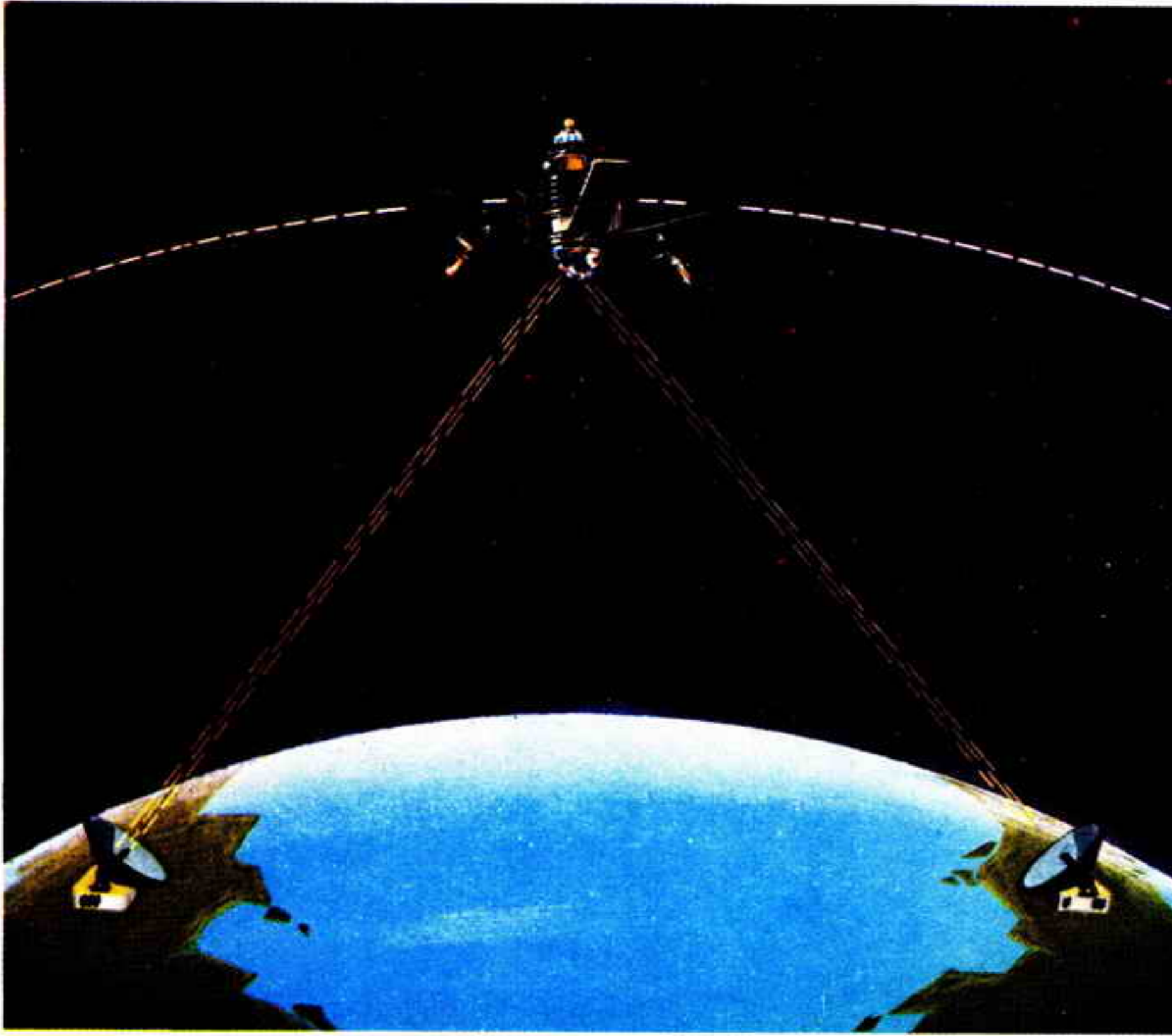
صُورَةٌ لِلأرْضِ أُخِذَتْ مِن سَطْحِ ٱلقَمَرِ.

إلى ٱليمينِ

يَحْدُثُ ٱلمَدُّ وَٱلجَزْرُ بِفِعْلِ جاذِبِيَّةِ ٱلقَمَرِ على ٱلبَحْرِ، وَلِلشَّمْسِ نَفْسُ ٱلتَّأثيرِ لكِنَّهُ أقَلُّ. وَهُناكَ مَدّانِ عالِيانِ كُلَّ يومٍ يَبْلُغُ طُمُوُّ ٱلبَحْرِ ذُرْوَتَهُ ست ساعات بعدهما. وَٱلمَدّانِ ٱلأَعْلَيانِ ٱلتّامّانِ يَحْدُثانِ عِنْدَما يَكونُ ٱلقَمَرُ مَحاقًا أو بَدْرًا. وَيَحْدُثُ ٱلمَدّانِ ٱلنّاقِصانِ في ٱلرُّبْعِ ٱلأوَّلِ وَٱلرُّبْعِ ٱلأخيرِ من أوجُهِ ٱلقَمَرِ.

إلى اليمين

أحَدُ الرُّوّادِ الأميركيّين مِنْ بَعْثَةِ أبوللو ١٦ يَمْشي عَلى سَطْحِ القَمَرِ. وإلى جانِبِهِ المَرْكَبَةُ القَمَرِيَّةُ وَالسَّيّارَةُ القَمَرِيَّةُ الَّتي تمَّ بِها التَّنَقُّلُ على سَطْحِ القَمَرِ لِجَمْعِ عَيِّناتٍ مُتَعَدِّدَةٍ من الصُّخورِ القَمَرِيَّةِ.

إلى الأسْفَلِ

قَمَرُ مُواصَلاتٍ في مَدارٍ اسْتِوائيٍّ حَوْلَ الأرْضِ. هٰذا التّابِعُ يُتِمُّ دَوْرَتَهُ حَوْلَ الأرضِ في ٢٤ ساعَةً (عَلى ارْتِفاعِ حَوالى ٣٥٧٠٠ كيلومتر)، لِذٰلِكَ يَبْقى فوقَ المَكانِ نَفْسِهِ من سَطْحِ الأرضِ. وَيُسَمّى هٰذا المَدارُ المَدارَ الثّابِتَ.

رِيادَةُ الفَضاءِ

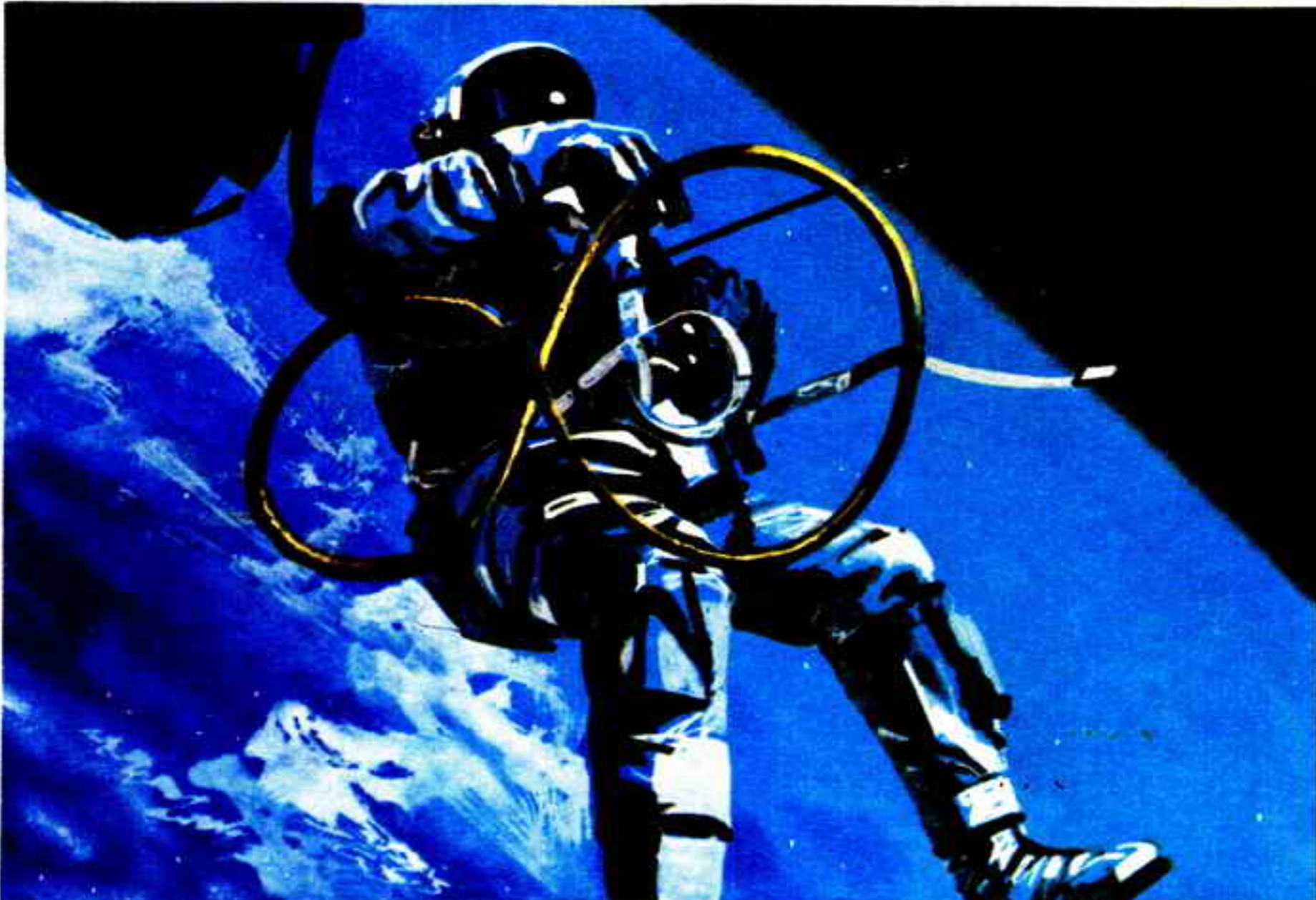
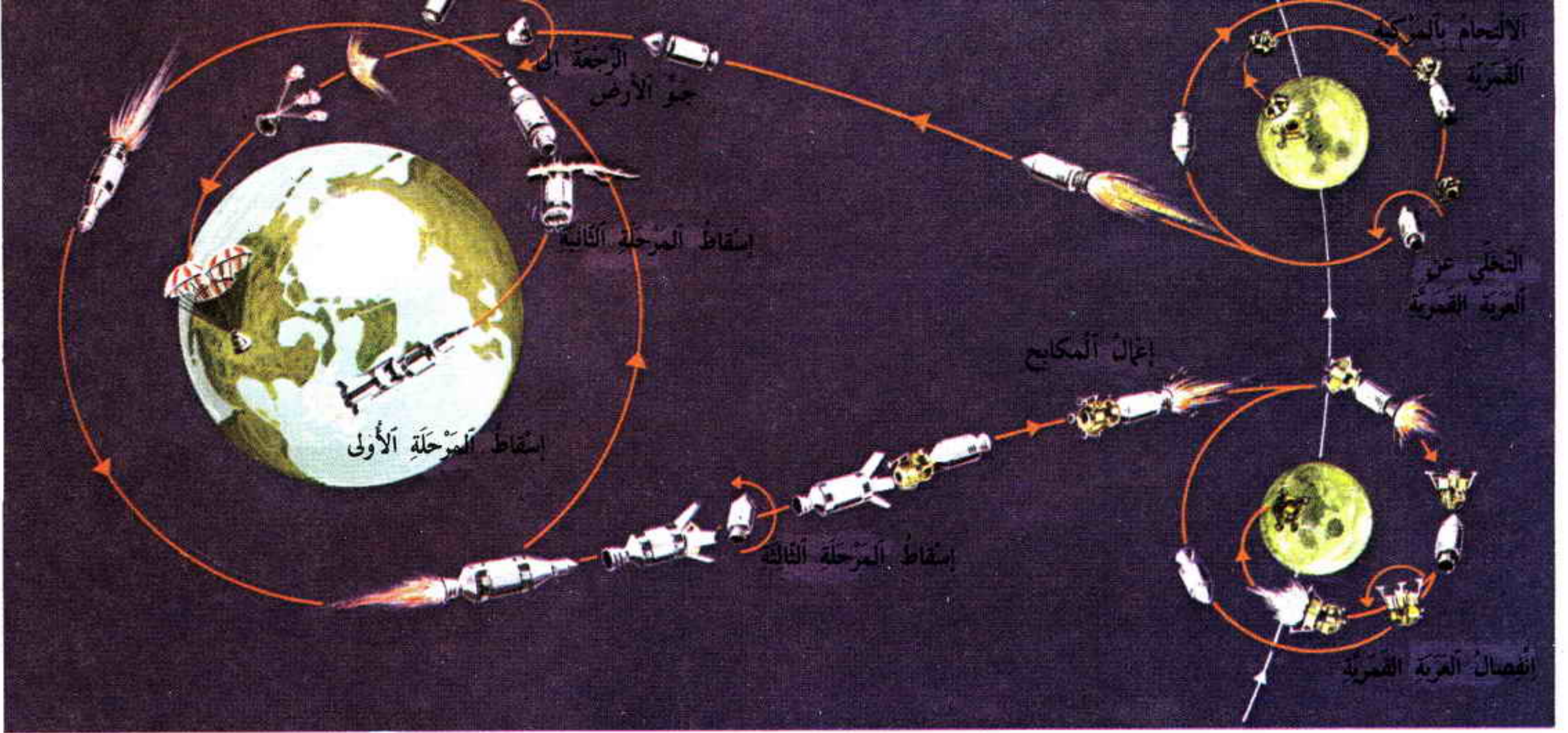
كانَ الإنْسانُ يَحْلُمُ مُنْذُ زَمَنٍ بَعيدٍ بِالسَّفَرِ إلى ما وَراءِ الأرْضِ، لٰكِنَّ ذٰلِكَ لَمْ يَتِمَّ لَهُ إلّا حَديثًا بَعدَ أنْ حَقَّقَ إمكاناتِ السَّفَرِ الفَضائيِّ.

وَلِلتَّحَرُّرِ من جاذِبِيَّةِ الأرضِ كانَ لا بُدَّ مِن تَطْويرِ الصَّواريخِ الحَديثَةِ (أُنْظُرْ صَفْحَة ٢٥٠). بَدَأَ الإنْسانُ اسْتِكْشافَ الفَضاءِ مُسْتَخْدِمًا الصَّواريخَ لِيُطْلِقَ أجْسامًا صَغيرَةً تُدعى أقْمارًا أو تَوابِعَ اصْطِناعِيَّةً، في مَداراتٍ حَولَ الأرْضِ. وَقَدْ أَطْلَقَ الرُّوسُ أوَّلَ قَمَرٍ اصْطِناعيٍّ وَهُوَ سِبْوتنيك الأوَّلُ عامَ ١٩٥٧. وَتُسْتَخْدَمُ الأقمارُ الصِّناعِيَّةُ بِأجْهِزَتِها المُعَقَّدَةِ لأغْراضٍ مُخْتَلِفَةٍ: كَالحُصولِ عَلى مَعْلوماتٍ عنِ الشَّمْسِ وَالنُّجومِ وَأشياءَ أُخْرى في الكَوْنِ، وَلِدَرْسِ أنماطِ المُناخِ في جَوِّ الأرْضِ، أوْ لِتَعْمَلَ كَأجْهِزَةٍ لِلْمُواصَلاتِ.

تِلستار الأوَّلُ وَهُوَ قَمَرُ مُواصَلاتٍ أُطْلِقَ عامَ ١٩٦٢، حَقَّقَ أوَّلَ اتِّصالٍ تِلفزيونيٍّ مُباشِرٍ بَينَ أوروبّا وأميركا. تَلَتْهُ أقْمارُ إيرلي بيرد ذاتُ التَّصميمِ الأفْضَلِ فَلَعِبَتْ دَوْرًا هامًّا في المُواصَلاتِ العالَمِيَّةِ.

وفي عامِ ١٩٦١ أطْلَقَ الرُّوسُ أوَّلَ عَرَبَةٍ فَضائِيَّةٍ مَأْهولَةٍ قادَها الرّائِدُ الفَضائيُّ يُوري غارغارين وَدارَ بِها مَرَّةً واحِدَةً حَوْلَ الأرضِ وتلاهُ جون غلين كَأَوَّلِ أميركيٍّ يَدورُ في مَدارٍ حَوْلَ الأرضِ عامَ ١٩٦٢.

بَدَأَ الرُّوسُ يَدْرُسونَ القَمَرَ مُسْتَخْدِمينَ مَرْكَباتٍ

فوقُ

مَسارُ أبوللو ١١ إلى ٱلقَمَرِ. لِوَضْعِ ٱلمَرْكَبَةِ ٱلفَضائِيَّةِ في مَدارٍ حَوْلَ ٱلأرضِ ٱسْتُخْدِمَ صاروخٌ ذو ثلاثِ مَراحِلَ. أُشْعِلَتْ كُلُّ مَرْحَلَةٍ بِدَوْرِها لِمُدَّةِ عِدَّةِ دقائقَ، ثُمَّ ٱنْفَصَلَتْ لِتُشْعِلَ ٱلمَرْحَلَةَ ٱلتالِيَةَ. أما ٱلمَرْحَلَةُ ٱلثالِثَةُ فقد أُشْعِلَتْ مَرَّةً ثانيةً لِتَحْمِلَ ٱلمَرْكَبَةَ إلى ٱلقَمَرِ.

إلى ٱليَمينِ

أَلِكْسي ليونوف أَحَدُ مَلّاحي مَرْكَبَةِ ٱلفَضاءِ ٱلمَدارِيَّةِ ٱلرّوسِيَّةِ فُوسْخُود ٢، كانَ أَوَّلَ مَنْ مَشى في ٱلفَضاءِ. لقدْ بَقِيَ خارِجَ ٱلمَرْكَبَةِ مُدَّةَ ١٠ دَقائقَ فَقَطْ، لكِنَّ ذٰلِكَ مَهَّدَ ٱلطَّريقَ أمامَ ٱلمَزيدِ مِنَ ٱلنَّشاطاتِ خارِجَ ٱلمَرْكَباتِ ٱلفَضائِيَّةِ.

لونيك ٱلفَضائِيَّةَ. وفي عام ١٩٥٩، بَعَثَتْ لُونيك ٣ إلى ٱلأرضِ صُوَرًا عن جانِبِ ٱلقَمَرِ ٱلآخَرِ ٱلمَحْجوبِ عَنِ ٱلأرضِ. وفي ٱلسِّتّينِيّاتِ رَكَّزَتْ روسْيا على حَلِّ مشاكِلِ ٱلطَّيَرانِ ٱلمَدارِيِّ في ٱلفَضاءِ وَلٰكِنَّها واصَلَتْ دِراساتِها عَنِ ٱلقَمَرِ بواسِطَةِ مَرْكَباتِ لُونيك غَيرِ ٱلمَأْهولَةِ.

عَلى أنَّ ٱلأميركِيّينَ حَوَّلوا جُهودَهُمْ لِيكونوا أَوَّلَ مَنْ يَصِلُ إلى ٱلقَمَرِ. فَٱسْتَخْدَموا عَرَباتِ ماركوري (بَرائِدٍ واحِدٍ) وجيميني (برائدين) لِدِراسَةِ ظُروفِ ٱلطَّيَرانِ ٱلفَضائِيِّ وَٱلمَشاكِلِ (مِثْلِ ٱنْعِدامِ ٱلوَزْنِ) ٱلَّتي يُحْتَمَلُ أنْ تُجابِهَ ٱلإنْسانَ.

لقدْ أُطْلِقَتْ سَوابِرُ غَيْرُ مَأْهولَةٍ مِثْلُ رينجر وسرڤايُور نَحْوَ ٱلقَمَرِ إعْدادًا لِعَرَباتِ أبُوللو ٱلمَأْهولَةِ. وفي عام ١٩٦٩ كانَ نيل آرمِسْترونغ وإدْوين أُلْدرين من رُوّادِ أبُوللو ١١ أَوَّلَ رَجُلَيْنِ يَمْشِيانِ عَلى سَطْحِ ٱلقَمَرِ.

وقد أَرْسَلَتْ أميركا وَكَذٰلِكَ روسيا سَوابِرَ غَيْرَ مَأْهولَةٍ إلى كَوْكَبَيِ ٱلزُّهَرَةِ وَٱلمِرِّيخِ ٱلقَريبَيْنِ. وقد أرْسَلَتْ هٰذِهِ ٱلسَّوابِرُ صُوَرًا عَديدَةً وَمَعْلوماتٍ هامَّةً وكَثيرَةً عنِ ٱلمِرِّيخِ. وفي عام ١٩٧٥ أرسَلَ الأميركِيّون سابِرًا غَيْرَ مأْهولٍ من نَوْعِ فايكنغ إلى هٰذا ٱلكَوْكَبِ، كَذٰلِكَ أرسَلَ ٱلرّوسُ سابِرًا بِٱسْمِ فينوس ٣ تَمَكَّنَ مِنَ ٱلوُصولِ إلى سَطْحِ هٰذا ٱلكَوْكَبِ.

وفي نَيْسانَ ١٩٧٢ أَطْلَقَتِ ٱلوِلاياتُ ٱلمُتَّحِدَةُ سابِرًا فَضائِيًّا بايونير ١٠ مَرَّ بِمُحاذاةِ ٱلمُشْتَري فَبَيَّنَ أنَّ لِهٰذا ٱلكَوْكَبِ مَجالاً مِغْناطيسِيًّا قَوِيًّا وقامتْ كَذٰلِكَ بِإطْلاقِ ٱلمُخْتَبَرِ ٱلفَضائِيِّ سْكاي لاب في مَدارٍ حَوْلَ ٱلأرْضِ عامَ ١٩٧٣ لإجْراءِ دِراساتٍ فَضائِيَّةٍ مُخْتَلِفَةٍ. وَبِٱلرَّغْمِ مِنَ ٱلنَّفَقاتِ ٱلعَظيمَةِ ٱللّازِمَةِ، خَطَّطَ ٱلأميركِيّون لإرْسالِ مَرْكَبَةٍ فَضائِيَّةٍ تَمُرُّ بِجَميعِ ٱلكَواكِبِ ٱلسَّيّارَةِ ٱلَّتي تَقَعُ خارِجَ مَدارِ ٱلأرضِ وَنَفَّذوا ذٰلِكَ عامَ ١٩٧٧.

وقد بَدَأَتْ أميركا وَروسيا تُنَفِّذانِ عَمَلِيًّا ٱتِّفاقَهُما لِلتَّعاوُنِ في تَبادُلِ ٱلمَعْلوماتِ وَٱلمُساهَمَةِ في مَشاريعَ فَضائِيَّةٍ مُشْتَرَكَةٍ.

إلى ٱلأسْفَلِ

يَهْدِفُ مَشْروعُ سكاي لاب ٱلفَضائِيُّ إلى وَضْعِ مَحَطَّةٍ فَضائِيَّةٍ في مَدارٍ حَوْلَ ٱلأرْضِ، حَيْثُ يَسْكُنُ ٱلعُلَماءُ وَيعْمَلونَ لِمُدَّةٍ طويلَةٍ، يَدْرُسونَ ٱلأرضَ وَٱلكَونَ مَعًا. وَقد عَمِلَ في سكاي لاب ٱلأوَّلِ فريقانِ ثُمَّ تَقَرَّرَ ٱلتَّخَلّي عَنِ ٱلمُخْتَبَرِ. وفي ٱلمَشْروعِ ٱلقادِمِ سَيَعْمَلُ مَكُّوكٌ فَضائِيٌّ كَٱلَّذي تَراهُ في ٱلصُّورَةِ بَيْنَ ٱلمُخْتَبَرِ وَٱلأرضِ لِيَنْقُلَ ٱلرِّجالَ وَٱلمُعَدّاتِ مِنَ ٱلمُخْتَبَرِ وإلَيْهِ.

اَلأرضُ

تَكَوَّنَتِ ٱلأرضُ مُنذُ أكْثَرَ مِنْ أَرْبَعَةِ آلافِ مِلْيونِ سَنَةٍ وكانَتْ حامِيَةً جِدًّا. وَيُعْتَقَدُ أنَّها ٱبْتَدَأَتْ كَكُتْلَةٍ هائِلَةٍ مِنَ ٱليابِسَةِ يُحيطُ بِها ٱلأوقْيانوس. وَمُنْذُ حَوالى مائَتَيْ مِلْيونِ سَنَةٍ ٱنْقَسَمَتْ هٰذِهِ ٱلكُتْلَةُ مِنَ ٱليابِسَةِ بِبُطْءٍ إلى قِطْعَتَيْنِ. ثُمَّ ٱنْقَسَمَتِ ٱلقِطْعَتانِ تَدريجيًّا فَتَكَوَّنَتْ مِنْهُما ٱلقارّاتُ ٱلسِّتُّ ٱلمَعروفَةُ ٱليَومَ. وَعَبْرَ مَلايينِ ٱلسِّنينَ تَغَيَّرَ سَطْحُ ٱلأرضِ كَثيرًا وَلا يَزالُ يَتَغَيَّرُ. فَظَهَرَتْ سَلاسِلُ ٱلجِبالِ وَٱلأنْهارُ وَٱلصَّحارى وَغَيْرُ ذٰلِكَ مِنَ ٱلمَعالِمِ ٱلجُغْرافِيَّةِ.

وَٱلتَّغَيُّراتُ في باطِنِ ٱلأرضِ قَليلَةٌ بِٱلمُقارَنَةِ مَعَ ٱلتَّغَيُّراتِ في سَطْحِها. وَٱلمَسافَةُ مِن سَطْحِ ٱلأرضِ إلى مَرْكَزِها تَبْلُغُ نَحْوَ ٦٤٠٠ كيلومتر. وَهُناكَ عِدَّةُ طَبَقاتٍ مُخْتَلِفَةُ ٱلتَّرْكيبِ بَيْنَ ٱلسَّطْحِ وَٱلمَرْكَزِ، وَتُعْرَفُ ٱلطَّبَقَةُ ٱلخارِجِيَّةُ بِٱلقِشْرَةِ وَهِيَ مُؤَلَّفَةٌ مِن صُخور تُكَوِّنُ ٱلقارّاتِ وَقاعَ ٱلمُحيطاتِ. وَتَبْلُغُ سَماكَةُ هٰذِهِ ٱلقِشْرَةِ ما بينَ ٥ وَ ٣٢ كيلومترًا وَهِيَ أشَدُّ ثَخانَةً تَحْتَ ٱلجِبالِ.

وَتَتَأَلَّفُ ٱلقِشْرَةُ نَفْسُها من طَبَقَتَيْنِ مُتَمَيِّزَتَيْنِ، تُدْعى ٱلخارِجِيَّةُ مِنها سِيال أو ٱلقِشْرَةَ ٱلسَّطْحِيَّةَ، وَتَتَأَلَّفُ من صُخورٍ صُلْبَةٍ خَفيضَةِ ٱلكَثافَةِ كَٱلغْرانيت. وَتَحْتَ ٱلسِّيال وفي مَناطِقَ أشَدَّ حَرارَةً توجَدُ طَبَقَةٌ مِن مَوادَّ صَخْرِيَّةٍ أكْثَفَ تُدْعَى ٱلسِّما أو ٱلصُّهارَةَ. وَمِن هٰذِهِ ٱلمادَّةِ تَتَأَلَّفُ ٱلصُّخورُ عَلى سَطْحِ ٱلأرضِ.

أمّا ٱلطَّبَقَةُ تَحْتَ ٱلقِشْرَةِ فَهِيَ ٱلدِّثارُ (أوِ ٱلطَّبَقَةُ ٱلمُغَلِّفَةُ) وَتَبْلُغُ سَماكَتُها نَحْوَ ٢٩٠٠ كيلومترٍ وَتَمْتَدُّ حَتّى نِصْفِ ٱلمَسافَةِ إلى مَرْكَزِ ٱلأرضِ. وَصُخورُ ٱلدِّثارِ أكْثَفُ مِن صُخورِ ٱلسِّيال وَٱلسِّما فَوقَها وَأشَدُّ حَرارَةً وَمادَّتُها مائِعَةٌ وَقابِلَةٌ لِلتَّشَكُّلِ. وَتَتَأَلَّفُ جَوْفُ ٱلأرضِ ٱلمُسَمّى ٱللُّبَّ مِنْ جُزْءٍ داخِلِيٍّ مَعْدِنِيٍّ صُلْبٍ تَلُفُّهُ طَبَقَةٌ سائِلَةٌ تَتَأَلَّفُ في غالِبِيَّتِها مِنَ ٱلحَديدِ وَٱلنِّيكِلِ. وَتَبْلُغُ سَماكَةُ ٱللُّبِّ نَحوَ ٣٥٠٠ كيلومتر.

وَتَحْدُثُ ٱلهزّاتُ ٱلأرْضِيَّةُ (ٱلزَّلازِلُ) بِفِعْلِ تَحَرُّكاتٍ أوِ ٱهْتِزازاتٍ مُتَسَلْسِلَةٍ في قِشْرَةِ ٱلأرْضِ أو في طَبَقَةِ ٱلدِّثار تُسَبِّبُ ٱرْتِجافَ سَطْحِ ٱلأرضِ وَتَحَرُّكَهُ. وَتُدْعى الاهْتِزازاتُ أمْواجًا صَدْمِيَّةً أو أمْواجًا زِلزالِيَّةً. وَهٰذِهِ ٱلتَّمَوُّجاتُ يُمْكِنُ كَشْفُها وَتَسْجيلُها بِٱلسِّيزموغراف (مِرْسَمَةِ ٱلزَّلازِلِ). وَهٰكَذا تُعْرَفُ طَبيعَةُ ٱلزِّلزالِ وَقُوَّتُهُ. وَٱلهَزّاتُ ٱلأرْضِيَّةُ في ٱلعَصْرِ ٱلحاضِرِ

فَوقُ

خَريطَةٌ مُخْتَلِفَةٌ لِلعالَمِ قَبْلَ حَوالى ٢٠٠ مِلْيونِ سَنَةٍ. فَكُتْلَةُ ٱلأرضِ لوراشيا ٱلَّتي كانَتْ تَضُمُّ ٱلقارّاتِ ٱلشَّمالِيَّةَ ٱنْفَصَلَتْ عن غوندوانالاند ٱلَّتي ٱشْتَمَلَتْ على ٱلقارّاتِ ٱلجَنوبِيَّةِ. يَفْصِلُهُما بَحْرُ تاثيس – ٱلبَحْرُ ٱلمُتَوَسِّطُ ٱلقَديمُ.

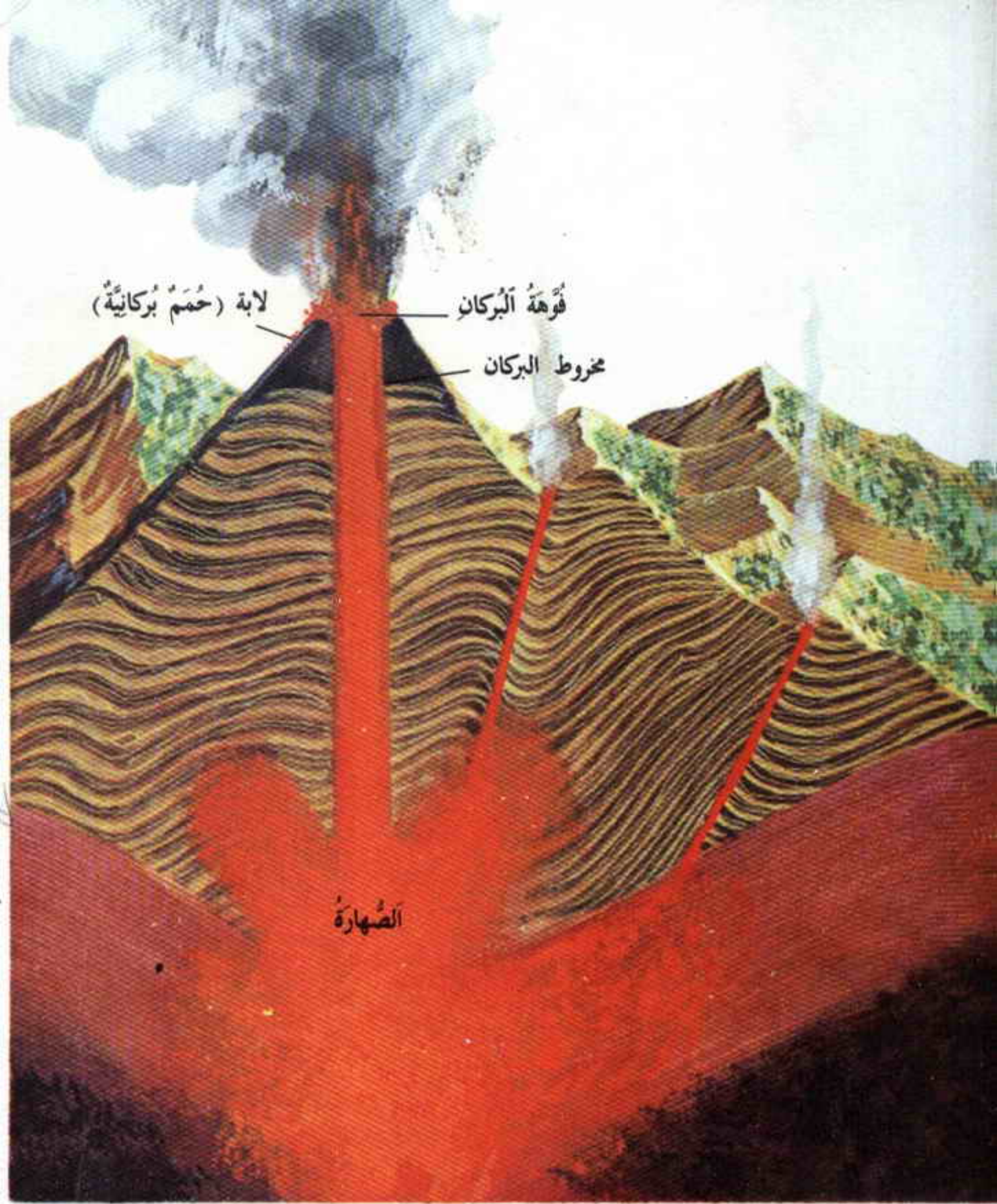
إلى اليمين

رَسْمٌ يُبَيِّنُ طَبَقاتِ ٱلمَوادِّ ٱلمُخْتَلِفَةِ داخِلَ ٱلأرضِ. تَتَأَلَّفُ صُخورُ ٱلسِّيال في غالِبِيَّتِها من مادَّتَيْنِ كيماوِيَّتَيْنِ هُما ٱلسِّليكا وَٱلألومينا. وَتَتَأَلَّفُ طَبَقَةُ ٱلسِّما مِن صُخورٍ أكْثَرَ كَثافَةً تَحْتَوي في غالِبِيَّتِها عَلى ٱلسِّليكا وَٱلمَغْنيزيا. وَٱلسِّليكا وَٱلمَغْنيزيا وَٱلحَديدُ هِيَ ٱلكيماوِيّاتُ ٱلأساسِيَّةُ ٱلَّتي تَتَأَلَّفُ مِنها طَبَقَةُ ٱلدِّثارِ.

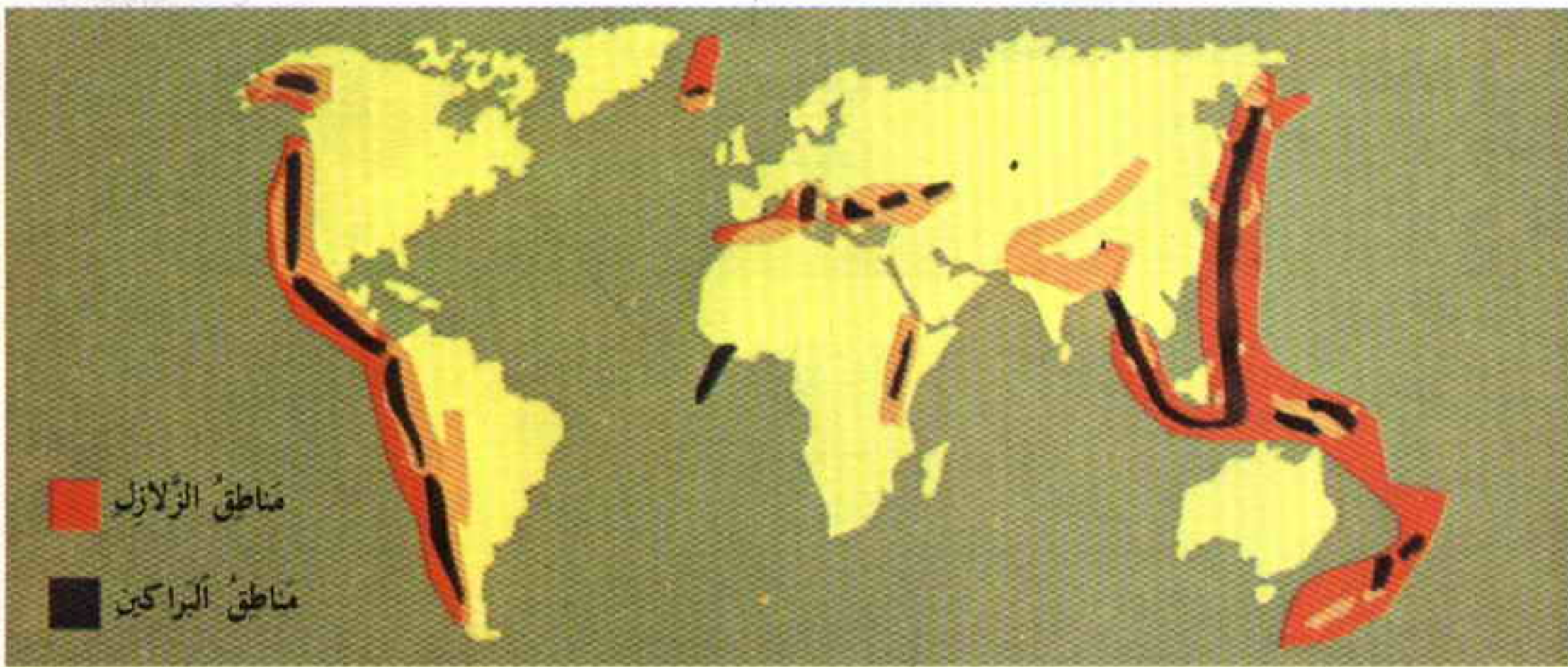
إلى ٱلأسْفَلِ

ٱلمَوادُّ ٱلَّتي تَتَأَلَّفُ مِنْها قِشْرَةُ ٱلأرضِ. وَٱلحَدُّ ٱلفاصِلُ بَينَ ٱلقِشْرَةِ وَٱلدِّثارِ هُوَ ٱلانْقِطاعُ ٱلموهُورُوفِيُّ، نِسْبَةً إلى ٱلرَّجُلِ ٱلَّذي ٱكْتَشَفَهُ عامَ ١٩٠٩ بَيْنَما كانَ يَتَقَصّى هَزَّةً أرْضِيَّةً.

أَقَلُّ عُنْفًا وَشِدَّةً مِنَ ٱلهَزّاتِ قَديمًا.

وَتحدُثُ ٱلبراكينُ نَتيجَةً لِشُقوقٍ أو صُدوعٍ في سَطْحِ ٱلأَرْضِ تَنْبَثِقُ مِنها صُهارَةٌ صَخْرِيَّةٌ عَبْرَ قِشْرَةِ ٱلأرضِ. وَعِنْدَما تُقْذَفُ هٰذِهِ ٱلصُّهارَةُ مِن بُرْكانٍ تُدعَى حُمَمًا بُركانِيَّةً أو لابَةً. وَتَحوي هٰذِهِ ٱلحُمَمُ رمادًا حارًّا وقِطَعَ صُخورٍ وَبُخارًا. تُوجَدُ ٱلبراكينُ عادَةً في ٱلمَناطِقِ ٱلَّتي تَكثُرُ ٱلزَّلازِلُ فيها وَتُكَوِّنُ جِبالًا أحيانًا. وَٱلبراكينُ مِثْلُ ٱلزَّلازِلِ لَها عَلاقَةٌ بِتحَرُّكاتِ طَبَقَةِ ٱلدِّثارِ ٱلغلافِيَّةِ. وَمِنْ أَعْظَمِ ٱلتَّفَجُّراتِ ٱلبُركانِيَّةِ وَأَشَدِّها ثَورانٌ بُرْكانِيٌّ حَصَلَ في جَزيرَةِ كَراكاتُووا قُرْبَ سُومَطْرَة عام ١٨٨٣، فَقَدْ أَحْدَثَ هٰذا الانْفِجارُ مَوْجَةَ مَدٍّ تَأَثَّرَتْ بِها ٱلمُحيطاتُ في جَميعِ أَنحاءِ ٱلعالَمِ.

إلى ٱلأَسْفَلِ

ٱلمَناطِقُ ٱلرَّئيسِيَّةُ لِلزَّلازِلِ وَٱلبَراكينِ. وَقَد كانَتِ ٱلزَّلازِلُ في ٱلعُصورِ ٱلغابِرَةِ عَلى دَرَجَةٍ بالِغَةٍ مِنَ ٱلعُنْفِ وَٱلشِّدَّةِ أدَّتْ إلى تَكْوينِ سَلاسِلِ ٱلجِبالِ كَسَلاسِلِ ٱلأَلْبِ وَٱلأَنْديزِ وَٱلهِمَلايا. وَتَحدُثُ ٱلزَّلازِلُ وَٱلبَراكينُ في ٱلعَصْرِ ٱلحاضِرِ في مَناطِقِ ٱلسَّلاسِلِ ٱلجَبَلِيَّةِ ٱلحَديثَةِ ٱلنَّشأَةِ.

فوق

مَقْطَعٌ طُولِيٌّ لِبُركانٍ ثائِرٍ. يَقْذِفُ ٱلبُركانُ من فُوَهَتِهِ ٱللّابَةَ ٱلمُؤَلَّفَةَ مِنَ ٱلرَّمادِ وَقِطَعِ ٱلصُّخورِ وَٱلبُخارِ وَغَيْرِها، فَتَنْسابُ هٰذِهِ عَلى ٱلسُّفوحِ.

إلى اليسار

بُركانٌ ثائِرٌ، وَتَبْدو سُيولُ ٱللّابَةِ مُتَوَهِّجَةً بِشِدَّةِ ٱلحَرارَةِ في هٰذِهِ ٱلصُّورَةِ ٱلمَأْخوذَةِ لَيْلًا.

إلى اقصى اليسار

عَمودٌ هائِلٌ مِنَ ٱلدُّخانِ وَٱلرَّمادِ يَرتَفِعُ مِنْ جَزيرَةِ سورتسي ٱلحَديثَةِ ٱلنَّشأَةِ. وكانَتْ هٰذِهِ ٱلجَزيرَةُ قَدْ بَرَزَتْ مِنَ ٱلبَحْرِ عَلى مَقْرُبَةٍ من شَواطِئِ آيسلَنْدَة مُنْذُ بِضعِ سَنَواتٍ كَنَتيجَةٍ لِنَشاطاتٍ بُركانِيَّةٍ تَحتَ ٱلبَحْرِ.

غرانيت (الأَعْبَل)

زَبَرْجَد في كُتْلَةِ مَرْوٍ (كْوارتْز)

عقيق أحمرُ (بجادي)

ٱلصُّخورُ وَٱلمَعادِنُ

سَطْحُ ٱلأرضِ باردٌ وَصُلْبٌ، بَيْنَا ٱلمادَّةُ تَحْتَ ٱلقِشْرَةِ عَلى عُمْقِ كيلومِتْراتٍ عَديدَةٍ ساخِنَةٌ جِدًّا وَتُعْرَفُ بِٱلصُّهارَةِ. وَهِيَ تَتَأَلَّفُ مِنْ مَوادَّ صَخْرِيَّةٍ مُنْصَهِرَةٍ بِسَبَبِ الارْتِفاعِ ٱلشَّديدِ في دَرَجَةِ ٱلحَرارَةِ. تَتَسَرَّبُ هٰذِهِ ٱلصُّهارَةُ أحيانًا إلى سَطْحِ ٱلأرضِ فَتَبْرُدُ وَتَتَحَوَّلُ إلى **صُخورٍ نارِيَّةٍ**.

وَإِحْدى ٱلطُّرُقِ ٱلَّتي تَتَكَوَّنُ فيها ٱلصُّخورُ ٱلنّارِيَّةُ تَتِمُّ بِٱنْدِفاعِ ٱلصُّهارَةِ عَبْرَ فُوَّهاتِ ٱلبراكينِ. وَتُدْعى ٱلصُّهارَةُ في هٰذِهِ ٱلحالة **حُمَمًا** أَوْ لابَةً. وَتَبْرُدُ ٱللّابَةُ وَتَتَصَلَّبُ بِسُرْعَةٍ مُكَوِّنَةً عِدَّةَ أنواعٍ مُخْتَلِفَةٍ مِنَ ٱلصُّخورِ كَٱلبازَلْت. وَتَتَأَلَّفُ ٱلصُّخورُ مِن قِطَعٍ صَغيرَةٍ تُسَمّى **ٱلبِلَّوْرات**. وَٱلصُّخورُ ٱلمُتَكَوِّنَةُ مِنَ ٱلحُمَمِ ٱلبُرْكانِيَّةِ (ٱللّابَةِ) تَكونُ بلَّوراتُها صَغيرَةً لِلْغايَةِ. أَمّا ٱلصُّخورُ ٱلمُتَكَوِّنَةُ مِن تَسَرُّباتِ ٱلصُّهارَةِ إلى ٱلسَّطْحِ عَبْرَ ٱلشُّقوقِ ٱلأَرْضِيَّةِ وَٱلَّتي تَأْخُذُ وَقْتًا أَطْوَلَ لِتَبْرُدَ وَتَتَصَلَّبَ فَتَتَأَلَّفُ مِن بلَّوراتٍ أَكْبَرَ كثيرًا كَٱلغرانيتِ (الأَعْبَل).

وَتَنْشأُ مِنَ ٱلصُّخورِ ٱلنّارِيَّةِ عِدَّةُ أنواعٍ مِنَ ٱلصُّخورِ يُمكِنُ إدْراجُها في فِئَتَيْنِ رَئيسِيَّتَيْنِ: **ٱلصُّخورِ ٱلرُّسوبِيَّةِ وَٱلصُّخورِ ٱلمُتَحَوِّلَةِ**. تَتَفَتَّتُ ٱلصُّخورُ ٱلقَديمَةُ تَدْريجيًّا وَتَنْحَتُّ بِفِعْلِ ٱلرّيحِ وَٱلمَطَرِ وَٱلجَليدِ وَٱلأنهارِ وَٱلبِحارِ وتُحْمَلُ ٱلجُسَيْماتُ ٱلمُنْحَتَّةُ من هٰذِهِ ٱلصُّخورِ بَعيدًا وَتَرْسُبُ في نِهايَةِ ٱلمَطافِ في قاعِ ٱلبَحْرِ مَثَلًا. وَعَلى مَدى مَلايينِ ٱلسِّنينَ تَتَراصُّ هٰذِهِ ٱلجُسَيْماتُ وَتَتَلاصَقُ فَتُؤَلِّفُ صُخورًا رُسوبِيَّةً. ٱلحَجَرُ ٱلرَّمليُّ وَٱلصَّلْصالُ (ٱلطَّفَلُ) كِلاهُما مِنَ ٱلصُّخورِ ٱلرُّسوبِيَّةِ، فَٱلحَجَرُ ٱلرَّمْلِيُّ يَتَأَلَّفُ مِن جُسَيْماتٍ مُتَوسِّطَةِ ٱلحَجْمِ أَمّا ٱلصَّلْصالُ

فَوْقُ

قِطْعَةٌ مِنَ ٱلغرانيتِ أَوِ ٱلأَعْبَل وَهُوَ صَخْرٌ صَلْدٌ جِدًّا يُقاوِمُ ٱلتَّآكُلَ وَالانحِتاتَ بِفِعْلِ ٱلمَطَرِ وَتَقَلُّباتِ ٱلحَرارَةِ لِذٰلِكَ يَصْلُحُ كَمادَّةٍ جَيِّدَةٍ لِلْبِناءِ. وَفي ٱلوَسَطِ قِطْعَةٌ مِن ٱلكوارتْز (ٱلمَرْوِ) تَضُمُّ عِرْقًا مِنَ ٱلزَّبَرْجَدِ وَهُوَ ضَرْبٌ مِنَ ٱلحِجارَةِ ٱلكَريمَةِ. وَفي ٱلأَسْفَلِ بلَّوراتٌ مِنَ ٱلعَقيقِ ٱلأَحْمَرِ مَدْفونَةٌ في صَخْرٍ مِن نَوْعٍ مُخْتَلِفٍ. وَيُصْنَعُ مِنَ ٱلعَقيقِ جَواهِرُ جَذّابَةٌ بِٱلقَطْعِ وَٱلصَّقْلِ.

إلى ٱليَسارِ

بُرْجٌ مُسْتَدِقٌّ مِنَ ٱلحَجَرِ ٱلرَّمْلِيِّ في جَزيرَةِ أورْكني عَلى مَقْرُبَةٍ من شاطِئِ اسكُتْلَنْدا ٱلشَّمالِيِّ. لاحِظْ رَقائِقَ ٱلصَّخْرِ ٱلطِّباقِيَّةَ فيهِ وفي ٱلصُّخورِ حَوْلَهُ.

فَمِنْ جُسَيْماتٍ صَغيرَةٍ جِدًّا. وَبَعْضُ ٱلصُّخورِ ٱلرُّسوبِيَّةِ كَٱلْحَجَرِ ٱلكِلْسِيِّ وَٱلطَبْشورِيِّ تَتَأَلَّفُ من أَصْدافِ وَهَياكِلِ ٱلْحَيَواناتِ ٱلَّتِي كانَتْ تَعيشُ في ٱلبِحارِ وَٱلأَنْهارِ مُنْذُ مَلايينِ ٱلسِّنينَ. أَمّا ٱلصُّخورُ ٱلْمُتَحَوِّلَةُ فَتَتَكَوَّنُ بِفِعْلِ ٱلحَرارَةِ ٱلعَظيمَةِ في ٱلصُّخورِ ٱلنّارِيَّةِ وَٱلرُّسوبِيَّةِ. وَكَثيرًا ما يَكونُ مَصْدَرَ هٰذِهِ ٱلحَرارَةِ بُرْكانٌ ثائِرٌ. فَٱلرُّخامُ صَخْرٌ مُتَحَوِّلٌ مِنَ ٱلْحَجَرِ ٱلكِلْسِيِّ، وَٱلأَردواز هُوَ صَلْصالٌ مُتَحَوِّلٌ. وَيحْوي ٱلكَثيرُ مِنَ ٱلصُّخورِ ٱلْمُتَحَوِّلَةِ بلَّوراتٍ كَبيرَةً مِنَ ٱلحِجارَةِ ٱلكَريمَةِ كَٱلعَقيقِ وَٱلياقوتِ.

تَتَأَلَّفُ جَميعُ ٱلصُّخورِ مِن بلَّوراتٍ من مَوادَّ كِماوِيَّةٍ مُخْتَلِفَةٍ تُدْعَى ٱلمَعادِنَ. وَٱلمَرْوُ أَوِ ٱلكُوارْتز هُوَ ٱلمَعْدِنُ ٱلأَكْثَرُ شُيوعًا وَيوجَدُ في مُعْظَمِ ٱلصُّخورِ. كَذٰلِكَ فإنَّ ٱلرَّملَ عَلى شاطِئِ ٱلبَحْرِ يَتَأَلَّفُ مِن حُبَيْباتِ مَرْوٍ مَلَّسَها وَنَعَّمَها فِعْلُ ٱلمَدِّ وَٱلجَزْرِ. وَٱلحَصَى عَلى ٱلشُّطآنِ أَيضًا كَوَّرَتْها وَمَلَّسَتْها أَمواجُ ٱلبَحْرِ عَلى مَدى مَلايينِ ٱلسِّنينَ.

أَمّا ٱلتَّلَوُّنُ ٱلقاتِمُ في كَثيرٍ مِنَ ٱلصُّخورِ فَيَعودُ إلى وُجودِ مَعادِنِ ٱلحَديدِ وَٱلمَغْنيزيوم في تَركيبِها. فَٱلزَّبَرْجَدُ ٱلزَّيتونِيُّ وَٱلهورنْبِلِنْد هُما مِنْ هٰذِهِ ٱلصُّخورِ. أَمّا ٱلكالسَيت فَيوجَدُ في ٱلحَجَرِ ٱلكِلْسِيِّ وَٱلطَّبشورِ وَهُوَ يَتَأَلَّفُ مِن كَربوناتِ ٱلكالْسيوم وَهِيَ ٱلمادَّةُ ٱلَّتِي تُغَشّي جُدْرانَ ٱلغَلّاياتِ بِٱلقُشورِ، وَمِنْها أَيضًا تَتَأَلَّفُ ٱلهَوابِطُ (ٱلأَعْمِدَةُ ٱلمُدَلّاةُ) وَٱلصَّواعِدُ في ٱلمَغاوِرِ.

إلى أقصى ٱليَمين

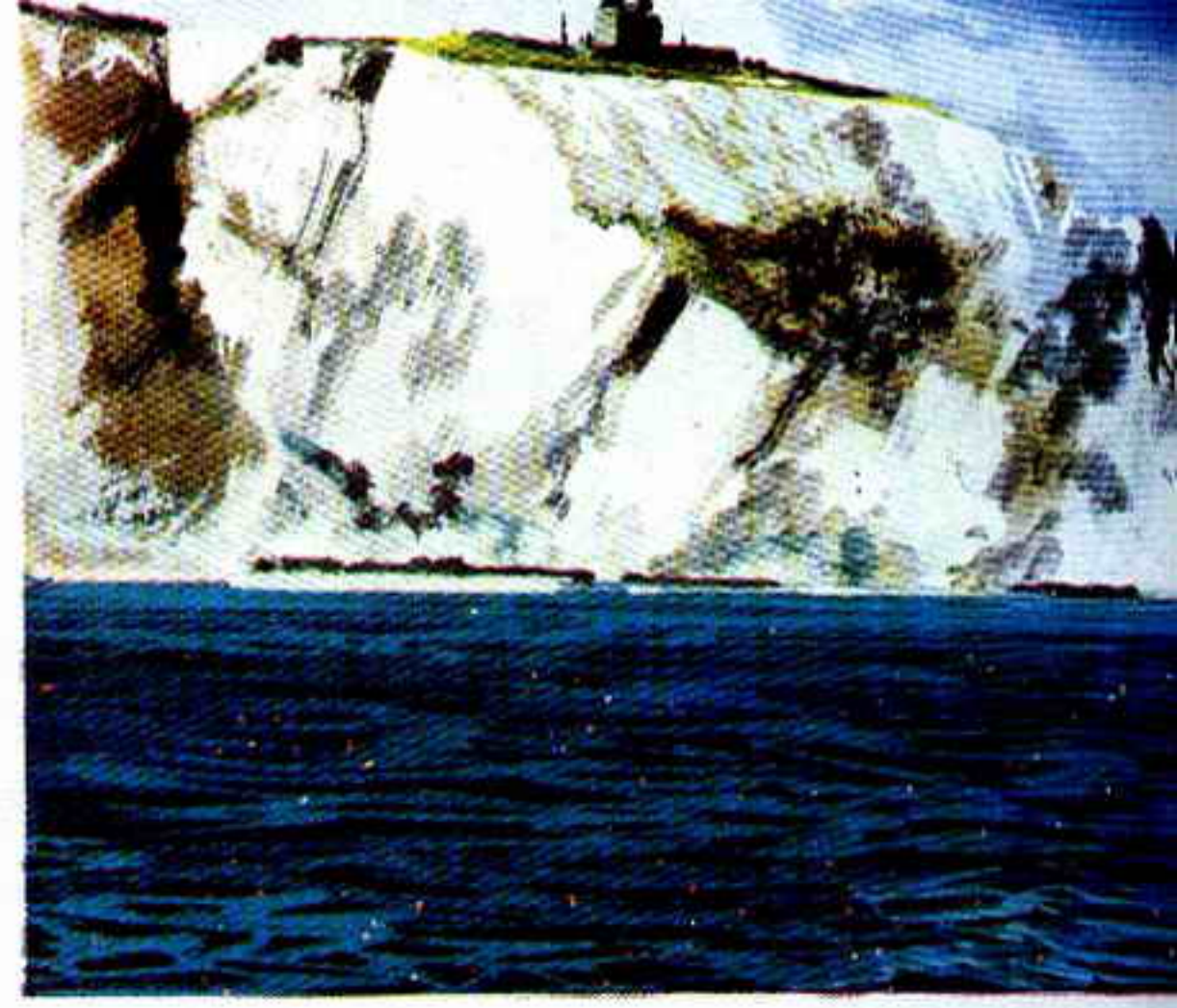
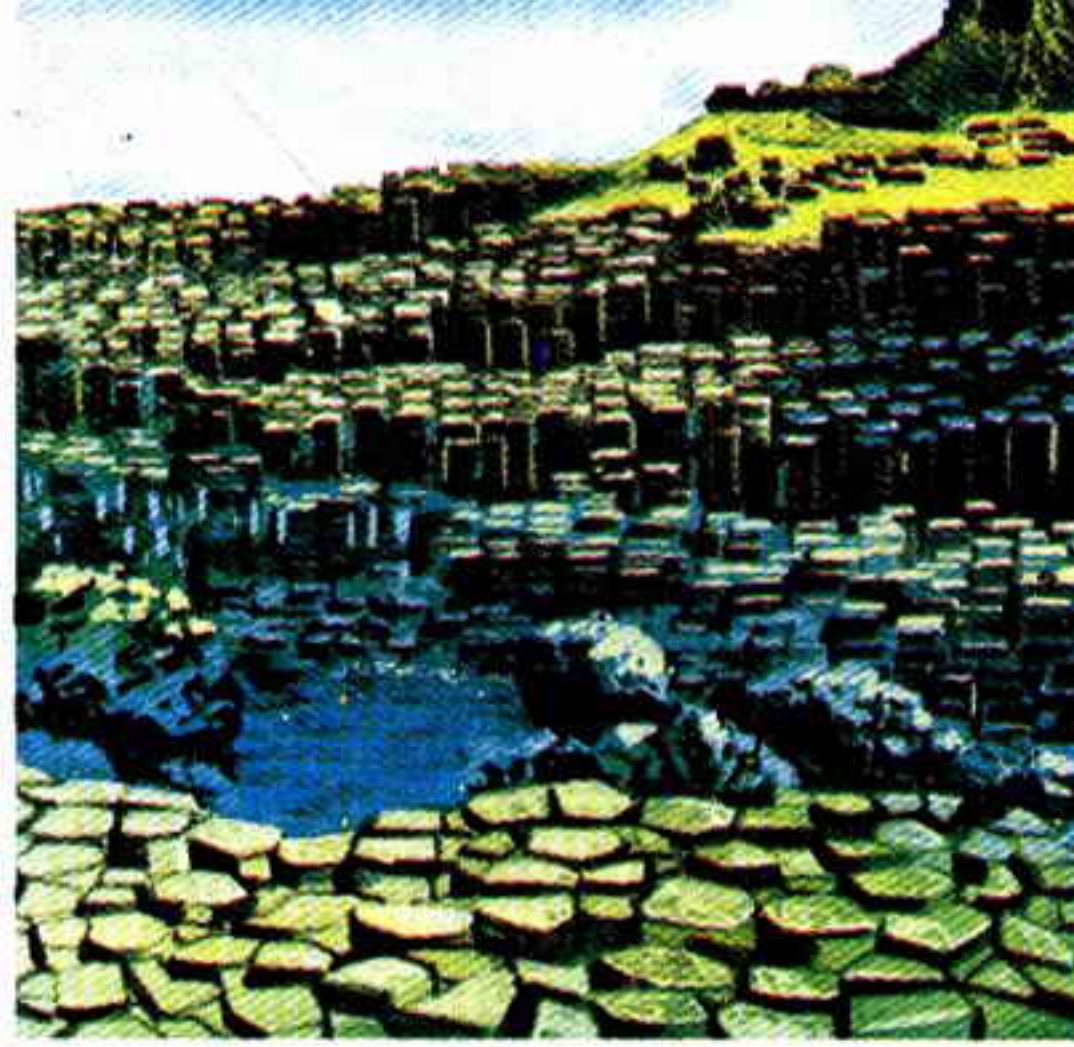
صُخورٌ شاهِقَةٌ مِنَ ٱلحَجَرِ ٱلطَّبْشورِيِّ في جَزيرَةِ وايت تَمْتَدُّ إلى ٱلبَحْرِ كَأَبْراجٍ مُنْعَزِلَةٍ.

إلى ٱليَمين

هٰذِهِ ٱلأَعْمِدَةُ ٱلسُّداسِيَّةُ مِنَ ٱلبازَلْت تُؤَلِّفُ جُزْءًا مِن مَعْبَرِ ٱلعَمالِقَةِ في إرْلَنْدا ٱلشَّمالِيَّةِ.

تحْتُ إلى ٱليَمين

هَوابِطُ وَصَواعِدُ تَراكَمَتْ عَبْرَ ٱلدُّهورِ مِن تَرَسُّباتِ كَرْبوناتِ ٱلكالْسيوم ٱلمُتَخَلِّفَةِ مِنْ قَطَراتِ ٱلماءِ في سَقْفِ ٱلمَغارَةِ وَأَرضِها. أَحْيانًا يَتَّصِلُ عَمودُ ٱلهابِطَةِ مَعَ عَمودِ ٱلصّاعِدَةِ فَيَتَأَلَّفُ عَمودٌ مِنَ ٱلحَجَرِ ٱلكِلْسِيِّ.

رُخام

عَقيق

كَهْرَمان

سَبَج (كهرمان أسود)

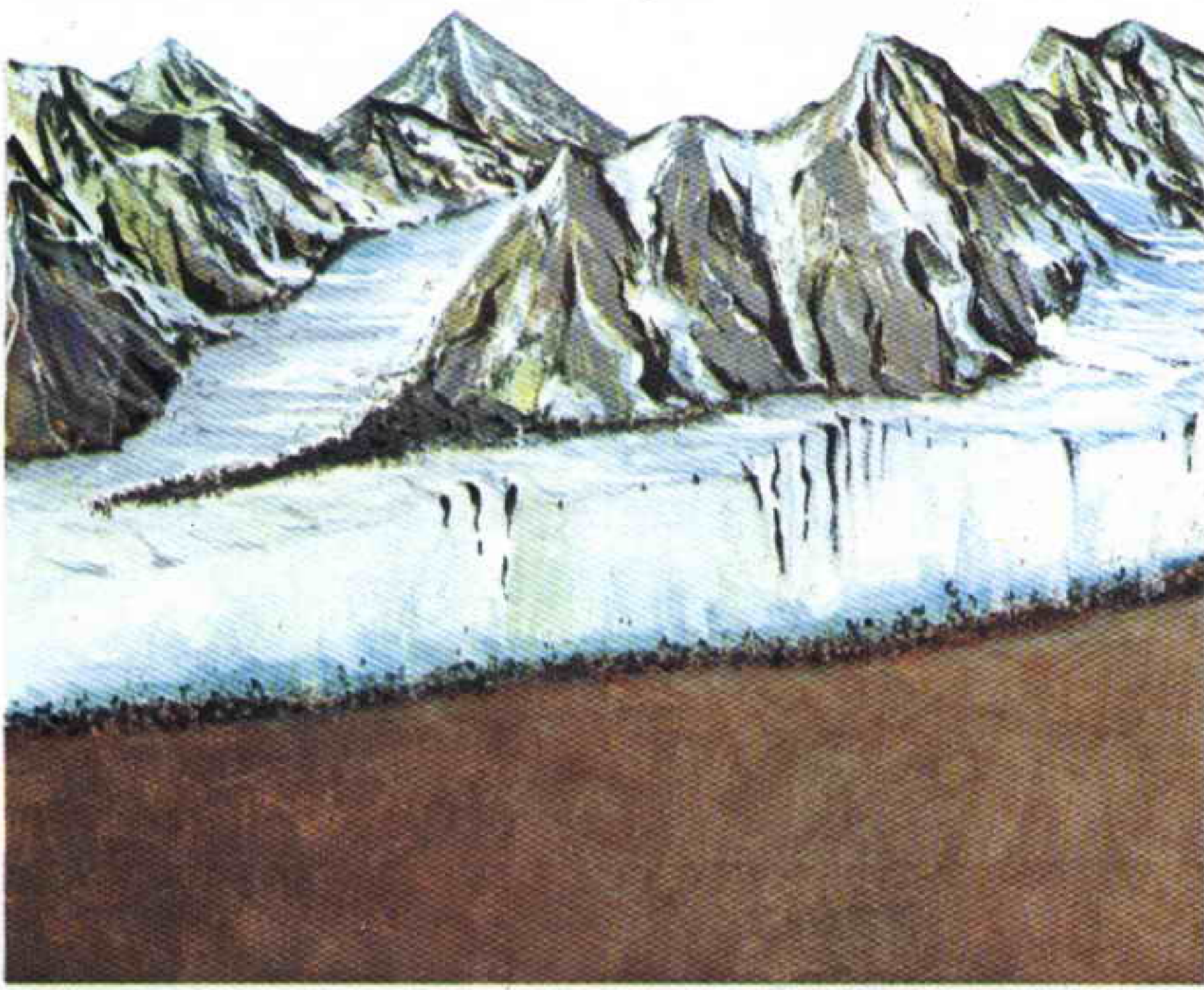
فَوقُ

قِطْعَةُ رُخامٍ، وَٱلرُّخامُ صَخْرٌ جَميلٌ يُسْتَخْدَمُ في أَغْراضِ ٱلزَّخْرَفَةِ أو لِصُنْعِ ٱلبَلاطِ وَٱلتَّماثيلِ. نَماذِجُ مِنَ ٱلعَقيقِ وَٱلكَهْرَمانِ وَٱلسَّبَجِ، وَتوجَدُ هٰذِهِ ٱلحِجارَةُ غالِبًا كَحَصًى مُكَوَّرَةٍ عَلى شاطِئِ ٱلبَحْرِ.

إلى ٱليَمين

مَقْلَعُ حِجارَةٍ كِلسِيَّةٍ. هٰذِهِ ٱلحِجارَةُ تُسْتَخْدَمُ في بِناءِ ٱلبُيوتِ وَفي صِناعَةِ ٱلكِيماوِيّاتِ. لاحِظْ تَطَبُّقَ ٱلصُّخورِ في ٱلمَقْلَعِ. إنَّ ٱلطَّبَقاتِ ٱلسُّفْلِيَّةَ في ٱلمَقْلَعِ أَقْدَمُ ٱلصُّخورِ ٱلرُّسوبِيَّةِ، أَمّا ٱلطَّبَقاتُ ٱلقَريبَةُ مِنَ ٱلسَّطحِ فَإنَّها حَديثَةُ ٱلتَّكوينِ وَيُحْتَمَلُ أَنْ تَكونَ ذاتَ تَرْكيبٍ مُخْتَلِفٍ.

اَلحَتُّ وَالتَّعْرِيَةُ

تَكَوَّنَتْ تَضاريسُ ٱلأرضِ وَمَناظِرُها ٱلطَّبيعِيَّةُ ٱلحالِيَّةُ في مَدى مَلايينِ ٱلسِّنينَ بِفِعْلِ ٱلحَتِّ وَٱلتَّعْرِيَةِ وَٱلتَّأَكُّلِ ٱلَّتي أحْدَثَتْها وَلا تَزالُ تُحْدِثُها ٱلعَوامِلُ ٱلطَّبيعِيَّةُ كَٱلرِّيحِ وَٱلمَطَرِ وَٱلجَليدِ وَٱلصَّقيعِ وَٱلبِحارِ وَٱلأنهارِ، في ٱلصُّخورِ ٱلَّتي يَتَأَلَّفُ مِنها سَطْحُ ٱلأرضِ. وَيُقْصَدُ بِٱلتَّعْرِيَةِ تَفَتُّتُ ٱلصُّخورِ ٱلصُّلْبَةِ إلى قِطَعٍ صَغيرَةٍ تُحْمَلُ بَعيدًا. وَيَتَزايَدُ تَفَتُّتُ قِطَعِ ٱلصُّخورِ هٰذِهِ بِٱلبِلى وَٱلتَّحاتِّ وَالانْحِلالِ حَتّى تُصْبِحَ جُسَيْماتٍ صَغيرَةً جِدًّا تَرْسُبُ بِشَكْلِ تُرابٍ. وَيَتَوَقَّفُ نَوْعُ ٱلتُّرابِ على نَوْعِ ٱلصَّخْرِ ٱلمُتَفَتِّتِ.

وَٱلجَليدُ وَبِخاصَّةٍ ٱلمَثالِجُ أوِ ٱلأَنْهُرُ ٱلجَليدِيَّةُ مِن أَهَمِّ عَوامِلِ ٱلتَّعْرِيَةِ. فَمُنْذُ أَقَلَّ مِن مِلْيونِ سَنَةٍ، وَهُوَ عَهْدٌ حَديثٌ بِٱلزَّمَنِ ٱلجُيولوجِيِّ، كانَ قِسْمٌ كَبيرٌ مِن نِصْفِ ٱلكُرَةِ ٱلشَّمالِيِّ مُغَطًّى بِطَبَقاتٍ هائِلَةٍ مِنَ ٱلجَليدِ، وَتُعْرَفُ هٰذِهِ ٱلفَتْرَةُ بِٱلعَصْرِ ٱلجَليدِيِّ. وَعِنْدَما زَحَفَتِ ٱلمَثالِجُ على ٱليابِسَةِ أحْدَثَتْ تَأَكُّلاً وَحَتًّا شَديدَيْنِ وَحَمَلَتْ مَعَها ٱلصَّخْرَ وَٱلتُّرابَ حَيْثُ سارَتْ. وَقَدْ حَدَثَ ذٰلِكَ غالِبًا في ٱلمَناطِقِ ٱلجَبَلِيَّةِ فَتَرَسَّبَتِ ٱلموادُّ ٱلمُنْحَتَّةُ حَيْثُ كانَتْ تَبْطُؤُ حَرَكَةُ ٱلجَليدِ أو عِنْدَما ذابَ ٱلجَليدُ أخيرًا في ٱلأراضي ٱلخَفيضَةِ. كانَتْ نَتيجَةُ ٱنْتِقالِ ٱلمَثالِجِ ٱنْجِرافَ قيعانِ مَجاريها مُكَوِّنَةً مَناطِقَ وَعْرَةً وَأَوْدِيَةً نونِيَّةً (بِشَكْلِ حَرفِ ن) تَجَمَّعَتْ فيها

فَوْقُ وإلى ٱليَسارِ

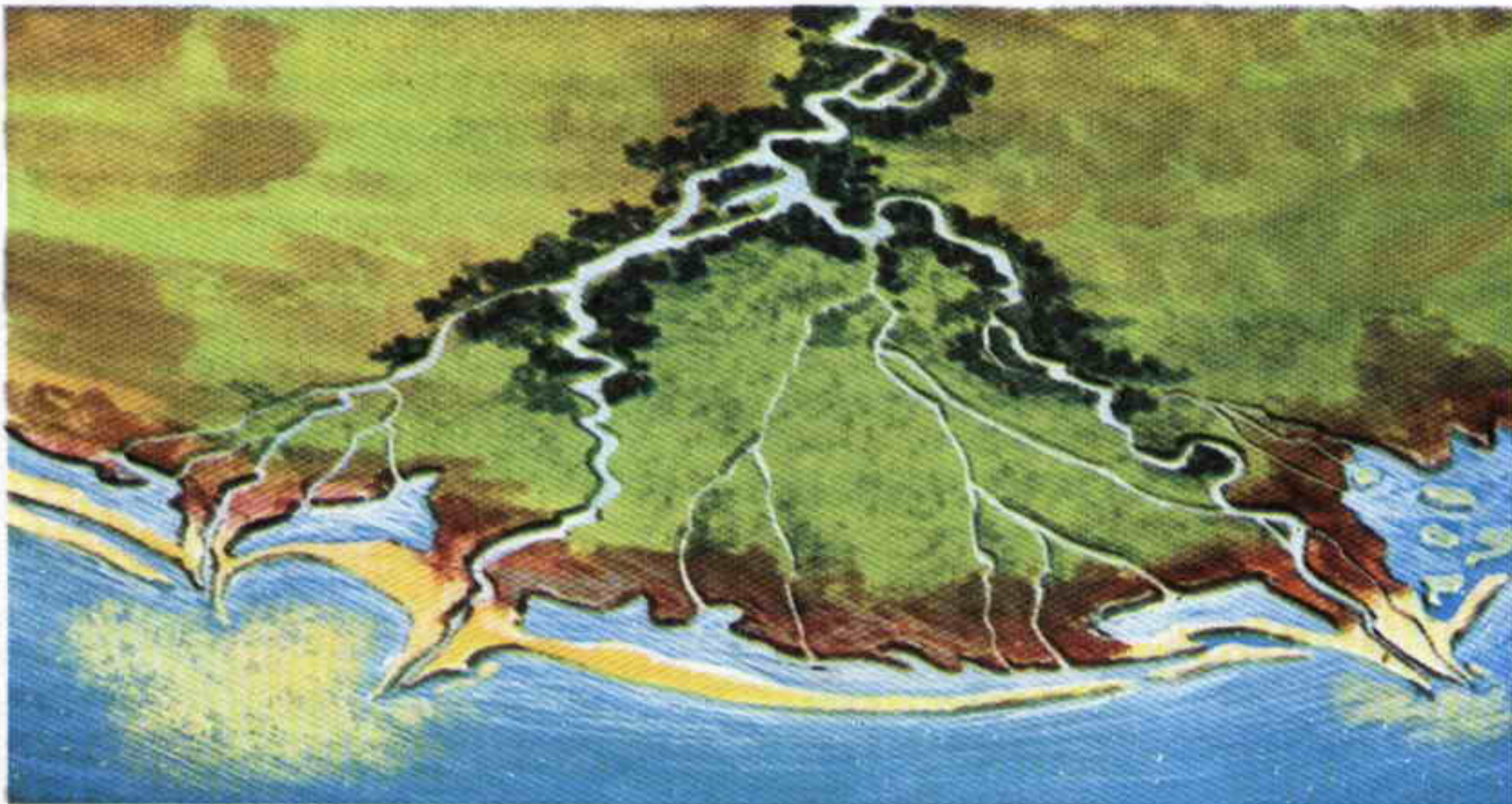
مَثْلَجَةُ بَحْرِ ٱلجَليدِ في شامونيكس في جِبالِ ٱلأَلْبِ ٱلإفْرَنْسِيَّةِ. وَٱلمَثْلَجَةُ هِيَ نَهْرٌ جَليدِيٌّ يَنْتَقِلُ بِبُطْءٍ عَبْرَ مُنْحَدَرٍ جَبَلِيٍّ، مُكَوِّنًا وادِيًا نونِيًّا (بِشَكْلِ حَرْفِ ن).

وَٱلجِبالُ ٱلمُسَنَّنَةُ كَجِبالِ ٱلأَلْبِ تَقَرَّضَتْ بِقُوَّةِ ٱلجَليدِ، فَعِنْدَما تَجْمُدُ ٱلمِياهُ في شُقوقِ ٱلصُّخورِ تَتَمَدَّدُ وَتُوَسِّعُ ٱلشُّقوقَ.

فَوقُ – في ٱلوَسَطِ

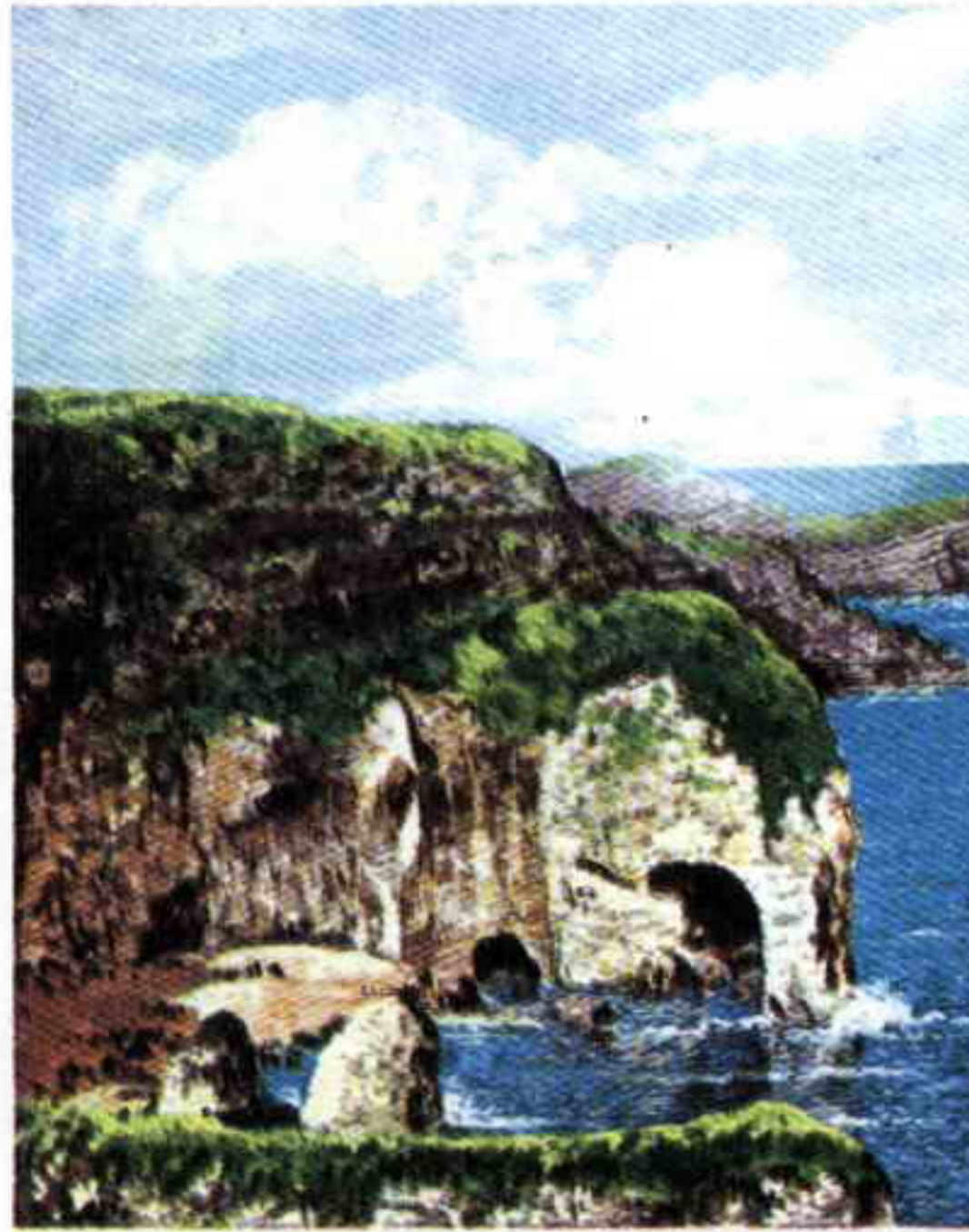
مَقْطَعٌ خِلالَ نَهْرٍ جَليدِيٍّ يُظْهِرُ حُمولَتَهُ ٱلسُّفْلى مِنْ قِطَعِ ٱلصَّخْرِ وَتُسَمّى ٱلرُّكامَ ٱلجَليدِيَّ. وَحَيْثُ تَلْتَقي مَثْلَجَتانِ تَتْرُكانِ رُكامًا جَليدِيًّا وَسيطًا.

إلى ٱليَسارِ

دِلْتا نَهْرِيَّةٌ. وَٱلدِّلْتا هِيَ مُلْتَقى ٱلنَّهْرِ بِٱلبَحْرِ حَيْثُ تَتَكَوَّنُ سُهولٌ طَمْيِيَّةٌ كَما في دِلْتا ٱلنّيلِ وَٱلمِسيسيبّي وَغَيْرِهِما.

صُخورٌ وجَلاميدُ وحَصًى كبيرَةٌ وصَغيرَةٌ بَعْدَ ذَوَبانِ ثُلوجِها.

وَٱلأَنْهارُ مِن أَهَمِّ عَوامِلِ ٱلتَّعْرِيَةِ وَأَكْثَرِها إِسْهامًا في تَشْكيلِ سَطْحِ ٱلأَرضِ، فَهِيَ إِذ تَنْسابُ سَريعَةً مِن مَنابِعِها في ٱلمُرتَفَعاتِ تَجْرُفُ في أَثْناءِ ٱنْحِدارِها قِطَعًا مِنَ ٱلصَّخْرِ مِن جَميعِ ٱلحُجومِ وفي ٱلوَقْتِ نَفْسِهِ تُوَسِّعُ وَتُعَمِّقُ مَجارِيَها لِتُصْبِحَ مُثَلَّثِيَّةَ ٱلمَقْطَعِ (بشكل ٧). وَفي ٱلأَراضي ٱلأَنْخَفَضِ تَنْطَلِقُ بِسُرْعَةٍ أَقَلَّ حامِلَةً شُحْنَتَها مِن ٱلوَحَلِ وَٱلرَّمْلِ وَٱلحَصى ٱلصَّغيرَةِ. وَعِنْدَما تَبْلُغُ ٱلسُّهولَ ٱلمُنْبَسِطَةَ تَتَمَعَّجُ بِبُطءٍ إِلى ٱلبَحْرِ تارِكَةً وَراءَها حُمولَتَها مُكَوِّنَةً شُطْآنًا مِنَ ٱلحَصى وَٱلرَّمْلِ وَمساحاتٍ مِنَ ٱلغِرينِ وَٱلوَحَلِ ٱلمُتَرَسِّبِ تُدْعَى ٱلطَّمْيَ.

وَٱلرّيحُ أَيضًا مِن عَوامِلِ ٱلتَّعْرِيَةِ ٱلمُهِمَّةِ فَهِيَ تُساعِدُ في تَفْتيتِ ٱلصَّخْرِ كَما تَذْرو ٱلغُبارَ وَٱلرَّملَ وَٱلتُّرابَ عَنِ ٱلسُّطوحِ ٱلمَكْشوفَةِ فَتترُكُها مُعَرَّضَةً لِتَفْعَلَ فيها قُوى ٱلتَّعْرِيَةِ ٱلأُخْرى.. وَيَظْهَرُ فِعْلُ ٱلرّيحِ جَلِيًّا في تَكوينِ كُثْبانِ ٱلرَّمْلِ في ٱلصَّحارَى، كَما إِنَّ تَعْرِيَةَ ٱلتُّرْبَةِ بِٱلرِّياحِ مُشْكِلَةٌ زِراعِيَّةٌ خَطيرَةٌ.

وللْبَحْرِ قُوَّةُ تَعْرِيَةٍ عَظيمَةٌ، فَمِياهُهُ ٱلمُحَمَّلَةُ بِٱلرَّمْلِ وَٱلحَصى تُرَسِّبُ شَواطِئَ مِنَ ٱلرَّمْلِ وَٱلحَصْباءِ. وَٱرْتِطامُ ٱلأَمواجِ ٱلمُحَمَّلَةِ بِٱلحَصْباءِ وَٱلرَّمْلِ يَحُتُّ ٱلشَّواطِئَ مُحَوِّلًا إِيّاها إِلى خُلْجانٍ حَيْثُ يَكونُ ٱلصَّخْرُ رَخْوًا، أَو إِلى رُؤوسٍ أَرضِيَّةٍ تَمْتَدُّ في ٱلبَحْرِ حَيْثُ ٱلصُّخورُ قاسِيَةٌ. وَبِفِعْلِ ٱلأَمْواجِ عَلى مَرِّ ٱلزَّمَنِ تَتَكَوَّنُ ٱلصُّخورُ ٱلشّاهِقَةُ وَٱلكُهوفُ عَلى ٱلشَّواطِئِ ٱلصَّخْرِيَّةِ.

فَوقُ إِلى أَعلى

ٱلأُخْدودُ ٱلكَبيرُ في ٱلوِلاياتِ ٱلمُتَّحِدَةِ ٱلأَمريكِيَّةِ. يَبْلُغُ طولُ ٱلأُخْدودِ حَوالَى ٣٢٠ كيلومترًا وَيَتَراوَحُ عَرْضُهُ بينَ ٦ و ٢٩ كيلومترًا، وَعُمْقُهُ ١٦٥٠ مترًا وقد تَكَوَّنَ مِن تَأَكُّلِ نَهْرِ كولورادو وَٱنْحِتاتِ مَجْراهُ.

فَوقُ

كُثْبانٌ رمليَّةٌ وهِيَ تراكماتٌ ممّا تَحْمِلُهُ ٱلرّيحِ من حَبّاتِ ٱلرَّمْلِ ثُمَّ تُرَسِّبُهُ في تَرْكيباتٍ هِلالِيَّةٍ.

إلى ٱليمين

شاطِئٌ بَحْرِيٌّ وَتَظْهَرُ فيهِ كُهوفٌ أَحْدَثَها ٱلتَّأَكُّلُ بِٱرْتِطامِ ٱلأَمواجِ. تَضْرِبُ ٱلأَمواجُ بِقُوَّةٍ عَلى قاعِدَةِ ٱلصَّخْرِ، فَتَنْجَرِفُ قِطَعٌ مِنَ ٱلصَّخْرِ ٱلطَّرِيِّ وَٱلطّينِ. وَمَعَ ٱلوَقْتِ تُصْبِحُ ٱلصُّخورُ هَشَّةً مُتَكَهِّفَةً أو مُنْخَرِبَةً.

إلى ٱليَمين

تَعْرِيَةٌ بَحْرِيَّةٌ: صُخورٌ شاهِقَةٌ مِنَ ٱلحَجَرِ ٱلكِلْسِيِّ في خَورٍ (خَليجٍ) أُستراليٍّ كَبيرٍ.

تَيّاراتٌ دافِئَةٌ
تَيّاراتٌ بارِدَةٌ

فَوْقُ

اَلتَّيّاراتُ اَلْمُحيطِيَّةُ في اَلعالَمِ. هُنالِكَ تَيّاراتٌ مائِيَّةٌ مُحَدَّدَةُ الاتِّجاهِ في اَلْمُحيطاتِ تَحْمِلُ اَلْماءَ اَلدّافِئَ إلى اَلْمَناطِقِ اَلبارِدَةِ وَاَلْماءَ اَلبارِدَ إلى اَلْمَناطِقِ اَلحارَّةِ – وَهٰذا يُؤَثِّرُ في اَلظُّروفِ اَلْمُناخِيَّةِ لِلْبُلْدانِ اَلشّاطِئِيَّةِ في مُخْتَلِفِ اَلْمَناطِقِ. وَمِثْلُ هٰذا اَلأَثَرِ واضِحٌ في أَثَرِ تَيّارِ اَلْخَليجِ عَلى اَلْمَناطِقِ اَلشّاطِئِيَّةِ في شَمالي أوروبّا.

اَلبِحارُ وَاَلأنْهارُ

يَحْوي ماءُ اَلبَحْرِ مِلْحًا وَمَوادَّ كيميائِيَّةً أُخْرى، بَيْنَما ماءُ اَلنَّهْرِ عَذْبٌ خالٍ من اَلمِلْحِ. تَتَبايَنُ مُلوحَةُ ماءِ اَلبَحْرِ في أَجْزاءِ اَلعالَمِ اَلْمُخْتَلِفَةِ. فَبَحْرُ اَلبَلْطيقِ قَليلُ اَلْمُلوحَةِ لأَنَّهُ يَتَغَذّى بِإمْداداتٍ وَفيرَةٍ مِنَ اَلْماءِ اَلعَذْبِ بِواسِطَةِ اَلأنْهارِ اَلعَديدَةِ اَلَّتي تَصُبُّ فيهِ. أَمّا اَلبَحْرُ اَلمَيْتُ فَهُوَ في غايَةِ اَلْمُلوحَةِ لِأنَّ مَدَدَهُ مِنَ اَلْماءِ اَلعَذْبِ شَحيحٌ، بِاَلإضافَةِ إلى أَنَّ اَرْتِفاعَ اَلحَرارَةِ في مِنْطَقَتِهِ يُبَخِّرُ اَلْماءَ فَيَزيدُ مِنْ تَرْكيزِ اَلمِلْحِ فيهِ.

وَظاهِرَةُ اَلمَدِّ وَاَلجَزْرِ هِيَ اَرْتِفاعُ مُسْتَوى سَطْحِ اَلبَحْرِ وَهُبوطُهُ مَرَّتَيْنِ كُلَّ يَومٍ في مُعْظَمِ اَلْمُحيطاتِ، لكِنْ في بَعْضِ اَلمَناطِقِ لا تَحْصُلُ هٰذِهِ اَلظّاهِرَةُ إلّا مَرَّةً واحِدَةً في اَليَوْمِ، وَيَتَحَكَّمُ اَلقَمَرُ بِاَلمَدِّ وَاَلجَزْرِ (اُنْظُرْ صَفْحَةَ ١٧). في عُرْضِ اَلبَحْرِ يَبْلُغُ اَلفَرْقُ بَيْنَ أعلى مَدٍّ وَأَدْنى جَزْرٍ حَوالَى اَلمِتْرِ، لكِنْ في اَلأماكِنِ اَلضَّحْلَةِ قُرْبَ اَلشَّواطِئِ وفي اَلخُلْجانِ اَلضَّيِّقَةِ، يُحْتَمَلُ أَنْ يَكونَ اَلفَرْقُ نَحْوَ ١٠ أَمْتارٍ.

تَحْدُثُ أَمْواجُ اَلبَحْرِ بِفِعْلِ اَلرّيحِ عَلى سَطْحِ اَلماءِ (وَبِإمكانِكَ أَنْ تُحْدِثَ أَمْواجًا عَلى سَطْحِ وِعاءٍ مَليءٍ

فَوْقُ

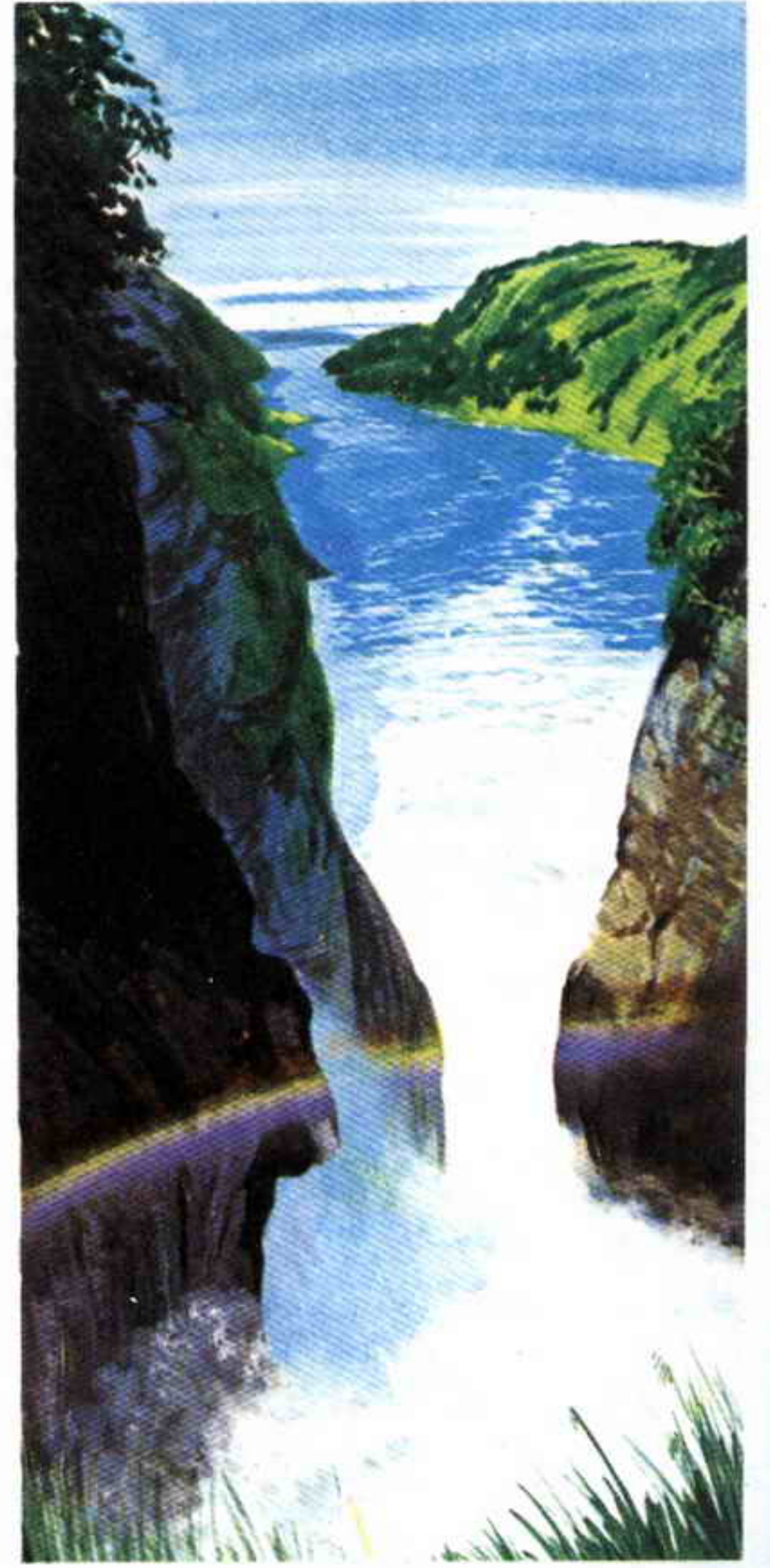
أَمْواجٌ عاتِيَةٌ تَتَكَسَّرُ عَلى شِعْبٍ صَخْرِيٍّ. إنَّ أَعلى اَلأَمْواجِ هِيَ تِلْكَ اَلَّتي قَطَعَتْ مَسافاتٍ طَويلَةً.

إلى اَليَسارِ

تَمَعُّجاتُ اَلنَّهْرِ في طَوْرِ اَلكُهولَةِ. لَقَدْ مَهَّدَ اَلنَّهْرُ في طَوْرِ اَلبُلوغِ سَهْلًا فَيْضِيًّا واسِعًا، وَها هُوَ في آخِرِ مَراحِلِهِ يَتَمَعَّجُ عَبْرَ هٰذا اَلسَّهْلِ مُتَّبِعًا اَلمَسارَ اَلأَهْوَنَ. إنَّ اَلمُنْعَطَفاتِ اَلَّتي يَسُدُّها اَلتَّطَمِّي تُقْتَطَعُ مَعَ اَلزَّمَنِ وَتُصْبِحُ بُحَيْراتٍ قَوْسِيَّةً.

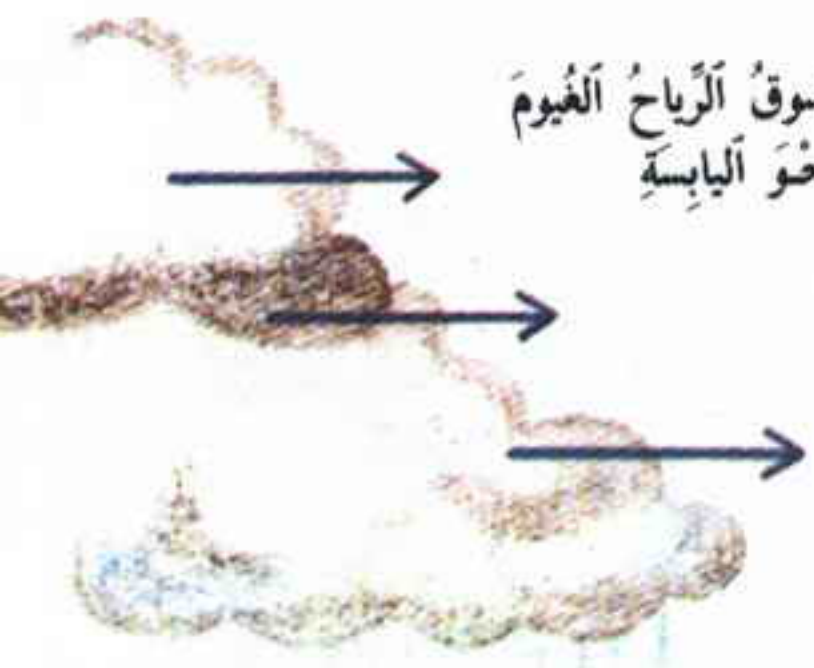
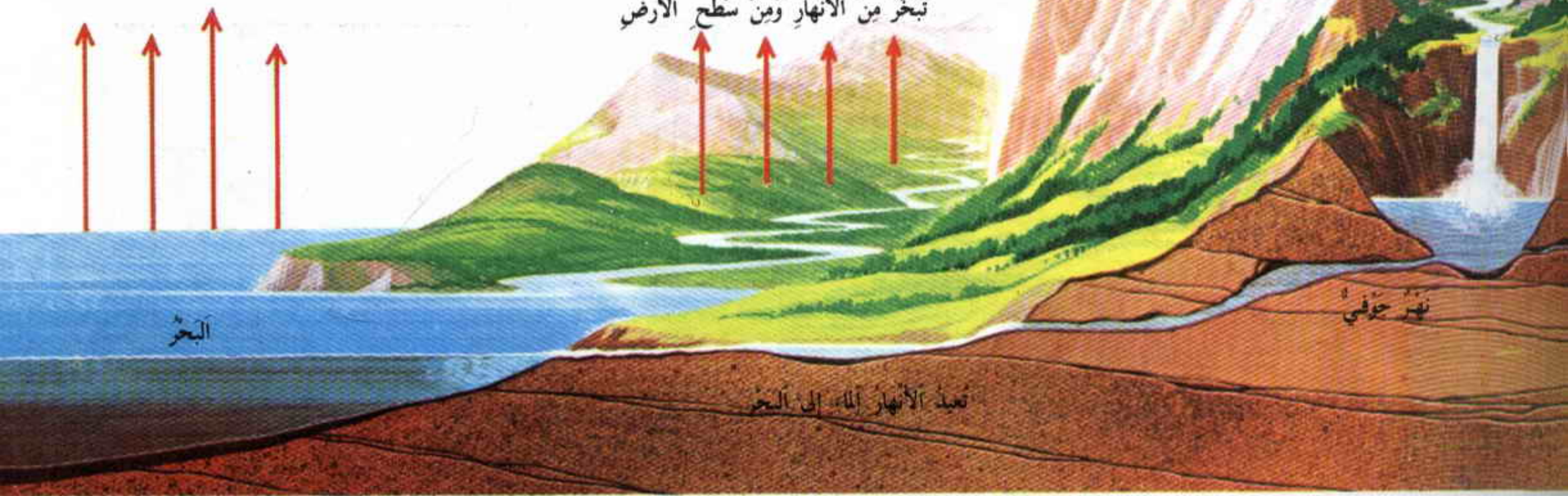
بِالْماءِ بِالنَّفْخِ فَوْقَهُ). وَالْماءُ الْمُتَمَوِّجُ لا يَنْتَقِلُ بَعيدًا في اتِّجاهِ الرِّيحِ فَهُوَ يَصْعَدُ وَيَهْبِطُ فَقَطْ مَعَ عُبورِ الْمَوْجَةِ.

أَمّا أَمْواجُ الْمَدِّ (التسونامي) فَلا عَلاقَةَ لَها بِالْمَدِّ وَالْجَزْرِ، بَلْ هِيَ نَتيجَةُ تَحَرُّكاتِ الْقِشْرَةِ الْأَرْضِيَّةِ تَحْتَ الْبِحارِ أَو عَلى مَقْرُبَةٍ مِنْها. مَعَ أَنَّ الرِّياحَ الْعاتِيَةَ قَدْ تُحْدِثُ أَحيانًا مِثْلَ هٰذِهِ الْأَمْواجِ. وَتُحْدِثُ هٰذِهِ الْأَمْواجُ غالِبًا دَمارًا شَديدًا إِذ قَدْ تَصِلُ سُرْعَتُها أَحْيانًا إِلى ٥٠٠ ميلٍ في السّاعَةِ، وَيَبْلُغُ ارْتِفاعُها عِدَّةَ أَمْتارٍ فَوْقَ الْيابِسَةِ.

يَبْدَأُ مَجْرَى النَّهْرِ عادَةً في التِّلالِ أَو الْجِبالِ حَيْثُ يَكونُ الْمَطَرُ غَزيرًا، وَفي أَثْناءِ تَمَعُّجِهِ بِاتِّجاهِ الْبَحْرِ تَتَزايَدُ مِياهُهُ بِالرَّوافِدِ الَّتي تَنْضَمُّ إِلَيْهِ. وَيَمُرُّ النَّهْرُ في ثَلاثِ مَراحِلَ عَلى طولِ مَجْراهُ وَتُعْرَفُ هٰذِهِ بِمَرْحَلَةِ الْحَداثَةِ وَالْبُلوغِ وَالْكُهولَةِ. فَفي مَرْحَلَةِ الْحَداثَةِ يَجْري النَّهْرُ بِسُرْعَةٍ في وادٍ مُثَلَّثِيِّ الْمَقْطَعِ (بشكل الرقم ٧) وَيكونُ صَغيرَ الْحَجْمِ. وَفي مَرْحَلَةِ الْبُلوغِ يَتَمَعَّجُ عَبْرَ سَهْلٍ فَيْضِيٍّ ضَيِّقٍ يَزْدادُ اتِّساعُهُ جِدًّا في مَرْحَلَةِ الْكُهولَةِ حَيْثُ يَبْلُغُ حَجْمُ النَّهْرِ أَوْجَهُ. وَتَتَرَسَّبُ مُعْظَمُ حُمولَةِ النَّهْرِ مِنَ الْغِرينِ وَالطَّمْيِ في هٰذِهِ الْمَرْحَلَةِ لِأَنَّ السُّرْعَةَ تَخِفُّ. وَتَتَكَوَّنُ الْبُحَيْراتُ الْقَوْسِيَّةُ عِنْدَما يَنْفَصِلُ أَحَدُ مُنْعَطَفاتِ النَّهْرِ عَنِ الْمَجْرى الرَّئيسِيِّ. وَالْماءُ عَلى الْأَرْضِ وَفي جَوِّها ثابِتُ الْكَمِّيَّةِ، لكِنَّهُ يَنْتَقِلُ في دَوْرَةٍ مِنْ عِدَّةِ أَطْوارٍ، فَهُوَ يَتَحَوَّلُ إِلى غازٍ (بِالتَّبَخُّرِ) أَو إِلى جَليدٍ أَو ثَلْجٍ بِالْجُمودِ.

إِلى الْيَمين

شَلّالاتُ مورتشيزون عَلى نَهْرِ النّيلِ. تَتَكَوَّنُ الشَّلّالاتُ عِنْدَما يَعْتَرِضُ مَجْرَى النَّهْرِ صَخْرٌ صُلْبٌ. وَتَفْعَلُ قُوَّةُ الْماءِ السّاقِطِ في الصُّخورِ الرِّخْوَةِ في الْأَسْفَلِ مُقَوِّضَةً الطَّبَقَةَ الْقاسِيَةَ. وَيَرْتَدُّ الشَّلّالُ غالِبًا بِاتِّجاهِ أَعلى النَّهْرِ مُكَوِّنًا بِارْتِدادِهِ أُخْدودًا عَميقًا ضَيِّقًا.

إِلى الْأَسْفَل

دَوْرَةُ الْماءِ: يَتَبَخَّرُ الْماءُ مِنَ الْبِحارِ وَالْأَنْهارِ وَالْبُحَيْراتِ وَالنَّباتاتِ فَيَرْتَفِعُ وَتَتَكَوَّنُ الْغُيومُ حَيْثُ يَبْرُدُ وَيَتَكَثَّفُ فَيَعودُ ماءً. وَهٰذا يَسْقُطُ إِلى الْأَرْضِ بِشَكْلِ مَطَرٍ أَو ثَلْجٍ أَو جَليدٍ وَيَعودُ نِهائِيًّا إِلى الْأَنْهارِ وَالْبِحارِ وَهٰكَذا دَوالَيْكَ.

جَوُّ ٱلأرضِ

يتألّفُ ٱلجَوُّ مِنْ طَبَقةِ غازٍ تُحيطُ بِٱلأرضِ وَتَرْتَفِعُ ٱمْتِدادًا في ٱلفَضاءِ إلى مَسافَةِ ٨٠٠ كيلومترٍ، لكنَّ مُعْظَمَ هَواءِ ٱلجَوِّ يَقَعُ ضِمْنَ نِطاقِ ١٦ كيلومترًا فَوقَ سَطْحِ ٱلأرضِ ٱلَّتي تَشُدُّهُ إلَيْها بِٱلجاذِبيَّةِ. وَيَتَناقَصُ مِقْدارُ ٱلغازِ فَوقَ هٰذا ٱلمُسْتَوى تَدْريجيًّا مَعَ الارتفاعِ حَتّى لا يَبْقى إلّا ٱلقَليلُ ٱلقَليلُ حَيْثُ يَبْدَأُ ٱلفَضاءُ ٱلخارِجيُّ.

يُؤَدّي جَوُّ ٱلأرضِ أدْوارًا حَيَويَّةً في حِمايَةِ ٱلأرضِ مِنْ شِدَّةِ ٱلحَرِّ وَٱلبَرْدِ وَمِنَ ٱلإشْعاعاتِ ٱلمُضِرَّةِ تَأْتي من ٱلشَّمْسِ. وَهُوَ يَخْزُنُ وَيَحْمِلُ ٱلماءَ وَٱلغازاتِ ٱلضَّروريَّةَ لِلْحَياةِ. يُؤَلِّفُ ٱلنّيتروجين ٱلجُزْءَ ٱلرَّئيسيَّ مِنْ حَجْمِ ٱلهَواءِ وَيَليهِ ٱلأُكْسِجين وَمَعَهُما مَقاديرُ ضَئيلَةٌ من ٱلآرْغون وَثاني أُكْسيدِ ٱلكَرْبون وَسِواهُما. في عَمَليَّةِ ٱلتَّمثيلِ ٱلضَّوْئيِّ تَأْخُذُ ٱلنَّباتاتُ ثانيَ أُكْسيدِ ٱلكَرْبون مِن ٱلهَواءِ وَتُطْلِقُ ٱلأُوكسِجين (أُنْظُرْ صفحة ٤٨) بَيْنَما يَجري ٱلعَكْسُ في عَمَليَّةِ تَنَفُّسِ ٱلأحْياءِ. وَٱلأُكْسِجين يُساعد عَلى الاحْتِراقِ وَبِدونِهِ لا تَشْتَعِلُ نارٌ. أمّا بُخارُ ٱلماءِ ٱلَّذي يُسَبِّبُ ٱلمَطَرَ فَمُتَوافِرٌ في ٱلهَواءِ بِمَقاديرَ مُخْتَلِفَةٍ.

وَيوجَدُ ٱلغُبارُ في ٱلجَوِّ بِشَكْلِ جُسَيْماتٍ صَغيرَةٍ جِدًّا مِنَ ٱلفَحْمِ وَغُبارِ ٱلرُّجُمِ وَٱلنَّيازِكِ ٱلكَوْنيَّةِ ٱلمُتَفَتِّتَةِ وَٱلمِلْحِ مِنْ ماءِ ٱلبَحْرِ ٱلمُتَناثِرِ وَحُبَيباتِ ٱللِّقاحِ وَٱلأبواغِ ٱلنَّباتيَّةِ. وَتَتَجَمَّعُ دَقائقُ بُخارِ ٱلماءِ حَوْلَ هٰذِهِ ٱلجُسَيْماتِ لِتُكَوِّنَ قَطَراتِ ٱلمَطَرِ.

إنَّ طَبَقَةَ ٱلهَواءِ ٱلقَريبَةَ مِنْ سَطْحِ ٱلأرضِ تَكونُ أسْخَنَ مِن ٱلهَواءِ في ٱلطَّبَقاتِ ٱلعُلْيا، لِأنَّها تَسْخُنُ بِٱلحَرارَةِ ٱلمُشِعَّةِ مِنَ ٱلأرضِ أكْثَرَ مِمّا تَسْخُنُ بِأشِعَّةِ ٱلشَّمْسِ مُباشَرَةً. وَهٰذا ٱلقِسْمُ ٱلسُّفْليُّ مِنَ ٱلغِلافِ ٱلجَوِّيِّ يُدْعَى ٱلتروبوسْفير وَفيهِ تَحْدُثُ ٱلتَّقَلُّباتُ ٱلجَوِّيَّةُ وَٱلمُناخيَّةُ وَهُوَ يَمْتَدُّ صُعُدًا حَتّى مِنْطَقَةِ ٱلرُّكودِ (التروبوبوز) حَيْثُ تَتَوَقَّفُ ٱلحَرارَةُ عَنِ ٱلتَّناقُصِ بِالارْتِفاعِ. وَتَعْلو طَبَقَةَ ٱلتروبوسْفير في ٱلغِلافِ ٱلجَوِّيِّ طَبَقاتٌ أُخْرى كَٱلستراتوسفير (الغِلافِ ٱلزَّمْهَريريِّ) وَٱلإيونوسْفير (الغِلافِ ٱلأيونيِّ).

وَٱلضَّغْطُ ٱلجَوِّيُّ هُوَ ٱلقُوَّةُ ٱلَّتي يَضْغَطُ بِها وَزْنُ ٱلهواءِ عَلى سَطْحِ ٱلأرضِ، وَهُوَ يَتَناقَصُ بالارْتِفاعِ بِسَبَبِ قِلَّةِ ٱلهَواءِ ٱلضّاغِطِ كُلَّما صَعِدْتَ. وَعِنْدَ مُسْتَوى ٱلبَحْرِ يَضْغَطُ ٱلهَواءُ بِمُعَدَّلِ كيلوغرامٍ واحِدٍ عَلى

غازاتٌ أُخرى ١٪
أُكْسِجين ٢١٪
نَيْتروجين ٧٨٪

إلى ٱليَسارِ

ٱلنِّسْبَةُ ٱلمِئَويَّةُ لِغازاتِ ٱلهَواءِ. وَمِنْها يَظْهَرُ أنَّ ٱلنَّيْتروجين يُؤَلِّفُ ٱلقِسْمَ ٱلأكْبَرَ مِنْ حَجْمِ ٱلهَواءِ.

إلى ٱلأسْفَلِ

طَبَقاتُ ٱلغِلافِ ٱلجَوِّيِّ. لاحِظِ ٱلضِّيقَ ٱلنِّسْبيَّ لِغِلافِ ٱلتروبوسفير.

الإكسوسفير
أقمارُ (أجرامُ) ٱلمواصلات
٦٠٠ كيلومتر
الإيونوسفير
يَغْلِبُ أنْ يَتَوزَّعَ ٱلغِلافُ ٱلأيونيُّ في طَبَقاتٍ تَعْكِسُ ٱلأمْواجَ ٱلرّاديَةَ
تَرْتَفِعُ دَرَجَةُ ٱلحَرارَةِ بِحِدَّةٍ إلى ما فَوقَ ١٠٠٠ دَرَجَةٍ مِئَويَّةٍ
أمْواجٌ راديَةٌ (راديويَّة)
تَنْخَفِضُ دَرَجَةُ ٱلحَرارَةِ إلى ١٢٠ مِئَويَّةً
٥٠ كيلومترًا
الستراتوسفير
تَرْتَفِعُ دَرَجَةُ ٱلحَرارَةِ إلى دَرَجَةِ ٱلصِّفْرِ ٱلمِئَويِّ
١٦ كيلومترًا
التروبوسفير
تَنْخَفِضُ دَرَجَةُ ٱلحَرارَةِ إلى دَرَجَةِ ٦٠ مِئَويَّةً

ٱلسَّنتِمِتْرِ ٱلمُرَبَّعِ أو ١٠١٣,٢ مِلّي بار «وَحْدَةَ ضَغْطٍ». وَهٰذا يَعْني أنَّ هَواءَ ٱلجَوِّ يَضْغَطُ عَلى كُلِّ سَنْتيمِتر مُرَبَّعٍ من جِسْمِكَ بِقَدْرِ كيلوغرام وَلٰكِنَّكَ لا تَشْعُرُ بِهذا ٱلوَزْنِ لأنَّ ٱلسَّوائِلَ وَٱلغازَ في جِسْمِكَ تُؤَثِّرُ بِضَغْطٍ مُساوٍ مُعاكِسٍ.

وَيَخْتَلِفُ ٱلضَّغْطُ ٱلجَوِّيُّ بَيْنَ مَكانٍ وَآخَرَ وَكَذٰلِكَ على الارْتِفاعاتِ ٱلمُخْتَلِفَةِ، وَهٰذا يُسَبِّبُ ٱلرِّياحَ ٱلَّتي تَنْدَفِعُ مِن مَناطِقِ ٱلضَّغْطِ ٱلعالي إلى مَناطِقِ ٱلضَّغْطِ ٱلخَفيضِ. وَيَنْشأُ ٱلضَّغْطُ ٱلعالي غالِبًا فَوقَ ٱلأَصْقاعِ ٱلبارِدَةِ وَٱلضَّغْطُ ٱلخَفيضُ فَوقَ ٱلمَناطِقِ الحارَّةِ.

وَبَعْضُ ٱلرِّياحِ ٱلمُنْتَظِمَةِ ٱلهُبوبِ لَها أسْماءٌ مُمَيَّزَةٌ، وَهٰذِهِ ٱلرِّياحُ بِالإضافَةِ إلى ٱلتَّياراتِ ٱلبَحْرِيَّةِ كانَتْ ضَرورِيَّةً لِلرُّوّادِ ٱلبَحْرِيِّينَ والمُسْتَكْشِفِينَ، إذْ إنَّ سُفُنَهُمْ كانَتْ تَعْتَمِدُ عَلى هٰذِهِ ٱلرِّياحِ في سَيْرِها. وَكانَ على هٰؤُلاءِ ٱلمَلّاحينَ أنْ يُعَدِّلوا مَساراتِهِمْ حَسَبَ هٰذِهِ ٱلرِّياحِ أو يَتَعَرَّضوا لِأخْطارِ ٱلتَّوَقُّفِ.

ٱلقُطْبُ ٱلشَّماليُّ
ٱلرِّياحُ ٱلشَّرقِيَّةُ ٱلقُطْبِيَّةُ
ضَغْطٌ خَفيضٌ
٦٠ شَمالًا
ٱلرِّياحُ ٱلغَرْبِيَّةُ
عُروضُ ٱلخَيْلِ
٣٠ شَمالًا
ٱلرِّياحُ ٱلتِّجارِيَّةُ ٱلشَّمالِيَّةُ ٱلشَّرقِيَّةُ
خَطُّ الاستِواءِ
نِطاقُ ٱلرَّهْوِ الاستِوائيُّ
صِفْرٌ
ٱلرِّياحُ ٱلتِّجارِيَّةُ ٱلجَنوبِيَّةُ ٱلشَّرقِيَّةُ
عُروضُ ٱلخَيْلِ
٣٠ جَنوبًا
ٱلرِّياحُ ٱلغَرْبِيَّةُ
ضَغْطٌ خَفيضٌ
٦٠ جَنوبًا
ٱلرِّياحُ ٱلشَّرقِيَّةُ ٱلقُطْبِيَّةُ
ٱلقُطْبُ ٱلجَنوبيُّ

إلى ٱليَمينِ

غازاتُ ٱلهَواءِ ضَرورِيَّةٌ لِحَياةِ ٱلإنْسانِ. وَعَلَيْهِ أنْ يَحْمِلَ مَعَهُ حاجَتَهُ مِنَ ٱلهَواءِ أثْناءَ ٱرْتِيادِهِ مَناطِقَ لا هَواءَ فيها. فَهٰذا ٱلغَوّاصُ يَلْبَسُ بِزَّةَ ضَغْطٍ وَخُوذَةً مُتَّصِلَةً بِخَزّانٍ هَوائِيٍّ بِواسِطَةِ أُنْبوبٍ ٱثْنَيْنِ، وَهٰذا يُجَهِّزُهُ بِٱلهَواءِ لِيَتَنَشَّقَهُ بِضَغْطٍ مُلائِمٍ.

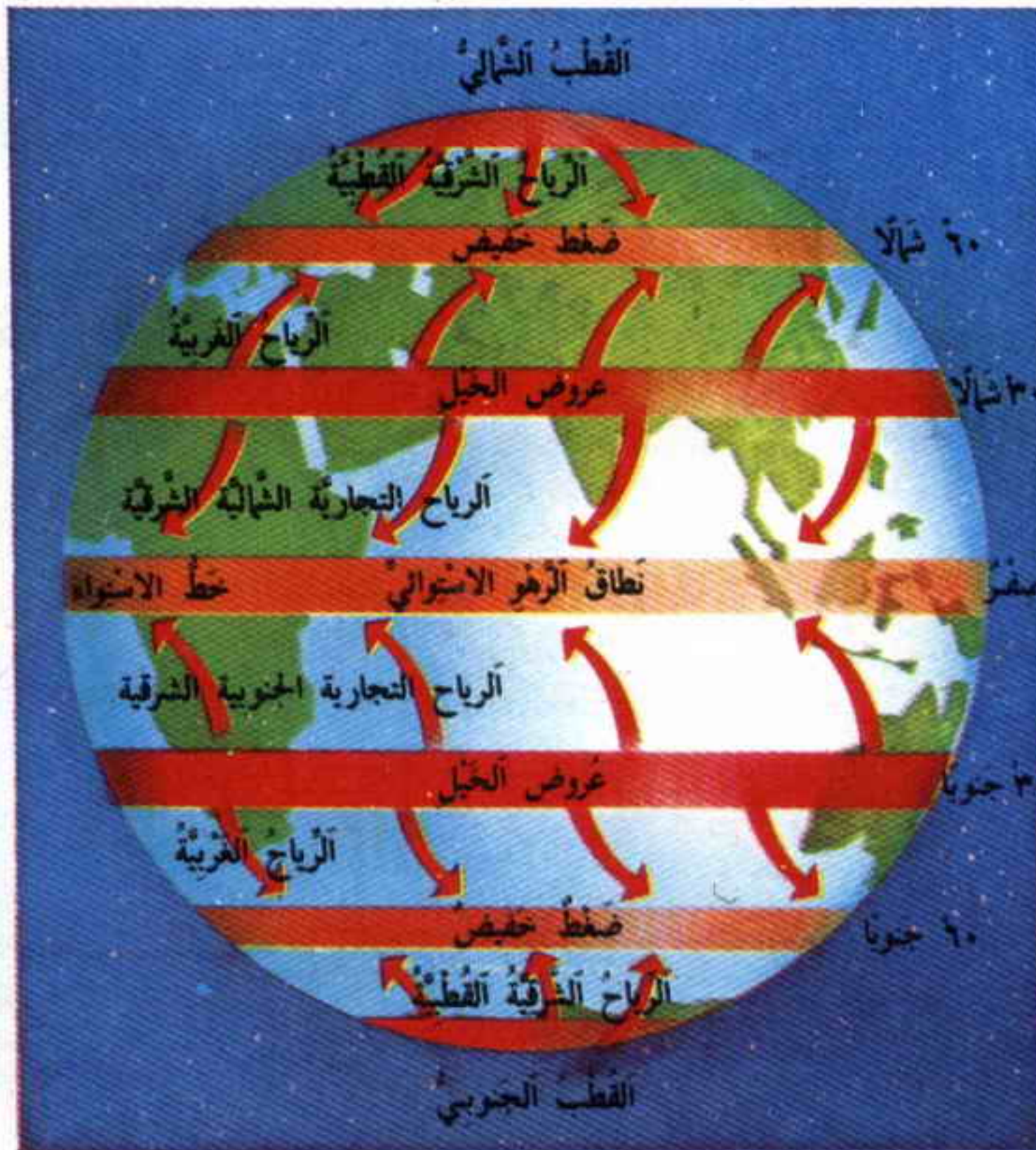
فَوقُ

يَعْلو جَبَلُ إفِرِسْت، أعلى جَبَلٍ في ٱلعالَمِ، ٨٨٤٧ مِتْرًا. وَقَدْ تَمَّ تَسَلُّقُهُ لِأَوَّلِ مَرَّةٍ عامَ ١٩٥٣. وَهُوَ يَرْتَفِعُ إلى ما يُقارِبُ ثَلاثَةَ أرباعِ هَواءِ ٱلغِلافِ ٱلجَوِّيِّ فَيُصْبِحُ ٱلضَّغْطُ مُتَدَنِّيًا جِدًّا هُناكَ. فَعَلى ٱلمُتَسَلِّقينَ أنْ يَسْتَعْمِلوا أجْهِزَةً وَمُعَدّاتٍ لِلتَّنَفُّسِ.

أقْصى ٱليَمينِ

لِتُبَرْهِنَ أنَّ ٱلأُكْسِجينَ ضَروريٌّ لِلاحْتِراقِ وَأنَّهُ يُؤَلِّفُ خُمْسَ ٱلهَواءِ بِٱلحَجْمِ، ضَعْ شَمْعَةً عَلى صَحْنٍ، وَعَوِّمِ ٱلصَّحْنَ في حَوْضٍ بِهِ ماءٌ إلى ٱرْتِفاعِ ٥ سَنْتيمِتراتٍ وَراقِبْ كَيْفِيَّةَ ٱشْتِعالِ ٱلشَّمْعَةِ بِحُرِّيَّةٍ. ثُمَّ ٱقْلِبْ مَرْطَبانًا فَوقَ ٱلشَّمْعَةِ وَلاحِظْ كَيْفَ يَرْتَفِعُ ٱلماءُ في ٱلمَرْطَبانِ لِيَحُلَّ مَحَلَّ ٱلأُكْسِجينِ ٱلمُسْتَهْلَكِ بِالاحْتِراقِ وَعِنْدَما تَنْطَفِئُ تَرى أنَّ ٱلماءَ قَدِ ٱرْتَفَعَ إلى خُمْسِ ٱلمَسافَةِ في ٱلمَرْطَبانِ.

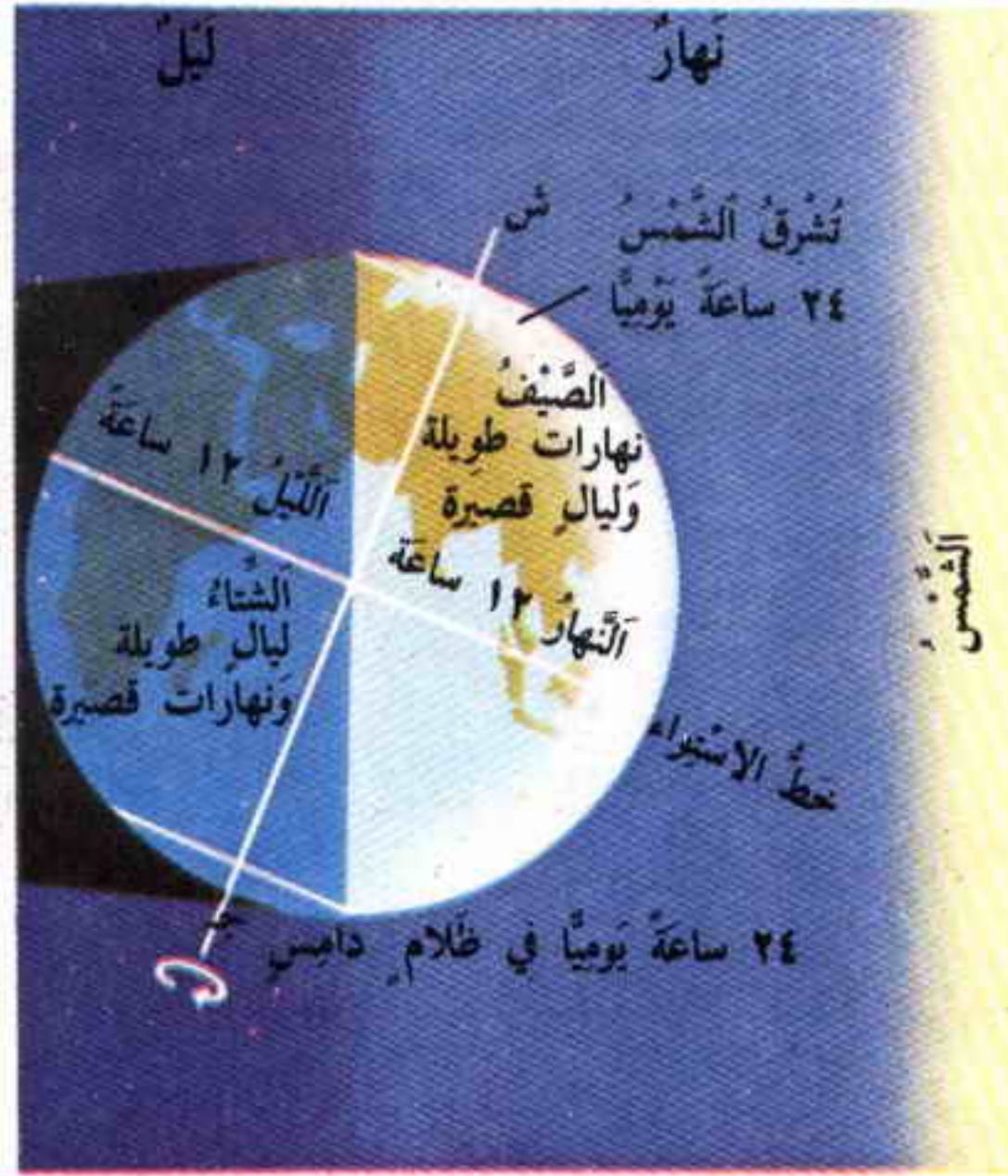
إلى ٱليَمينِ

ٱلنِّطاقاتُ ٱلهَوائِيَّةُ ٱلمُرْتَفِعَةُ وٱلخَفيضَةُ ٱلضَّغْطِ حَوْلَ ٱلأرضِ وَنَمَطُ ٱلرِّياحِ بَيْنَها. تَنْعَطِفُ ٱلرِّياحُ في نِصْفِ ٱلكُرَةِ ٱلشَّماليِّ إلى ٱليَمينِ بَيْنَما تَتَحَوَّلُ نَحْوَ ٱليَسارِ في ٱلنِّصْفِ ٱلجَنوبِيِّ وَذٰلِكَ بِسَبَبِ دَوَرانِ ٱلأرضِ. لِذٰلِكَ لا تَهُبُّ ٱلرِّياحُ مُباشَرَةً مِن مِنْطَقَةِ ضَغْطٍ عالٍ إلى مِنْطَقَةِ ضَغْطٍ خَفيضٍ.

اَلمُناخُ

اَلمُناخُ هُوَ مُعَدَّلُ حالَةِ اَلطَّقْسِ اَلمُسَيْطِرِ في مَكانٍ ما على مَدى عِدَّةِ سِنينَ. فَقَوْلُكَ مَثَلًا: «غرينلانْد بَلَدٌ بارِدٌ» تَعْبيرٌ عَنِ اَلمُناخِ، بَيْنَما قَوْلُكَ «يَبْدُو أَنَّهُ يَومٌ مَطيرٌ» تَعْبيرٌ عَنِ اَلطَّقْسِ اَلَّذي يَتَغَيَّرُ مِنْ يَومٍ إلى آخَرَ وَأَحْيانًا مِن ساعَةٍ إلى أُخْرى.

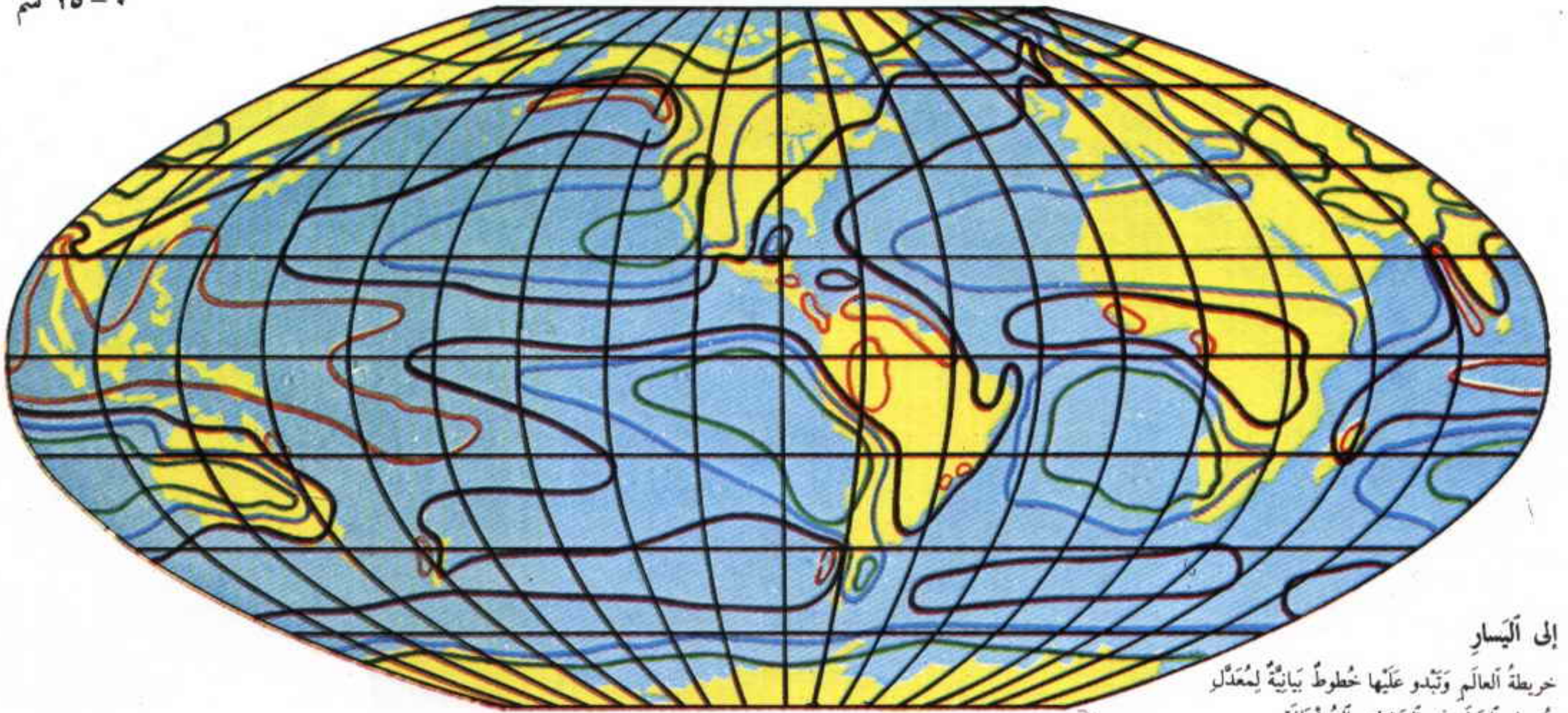
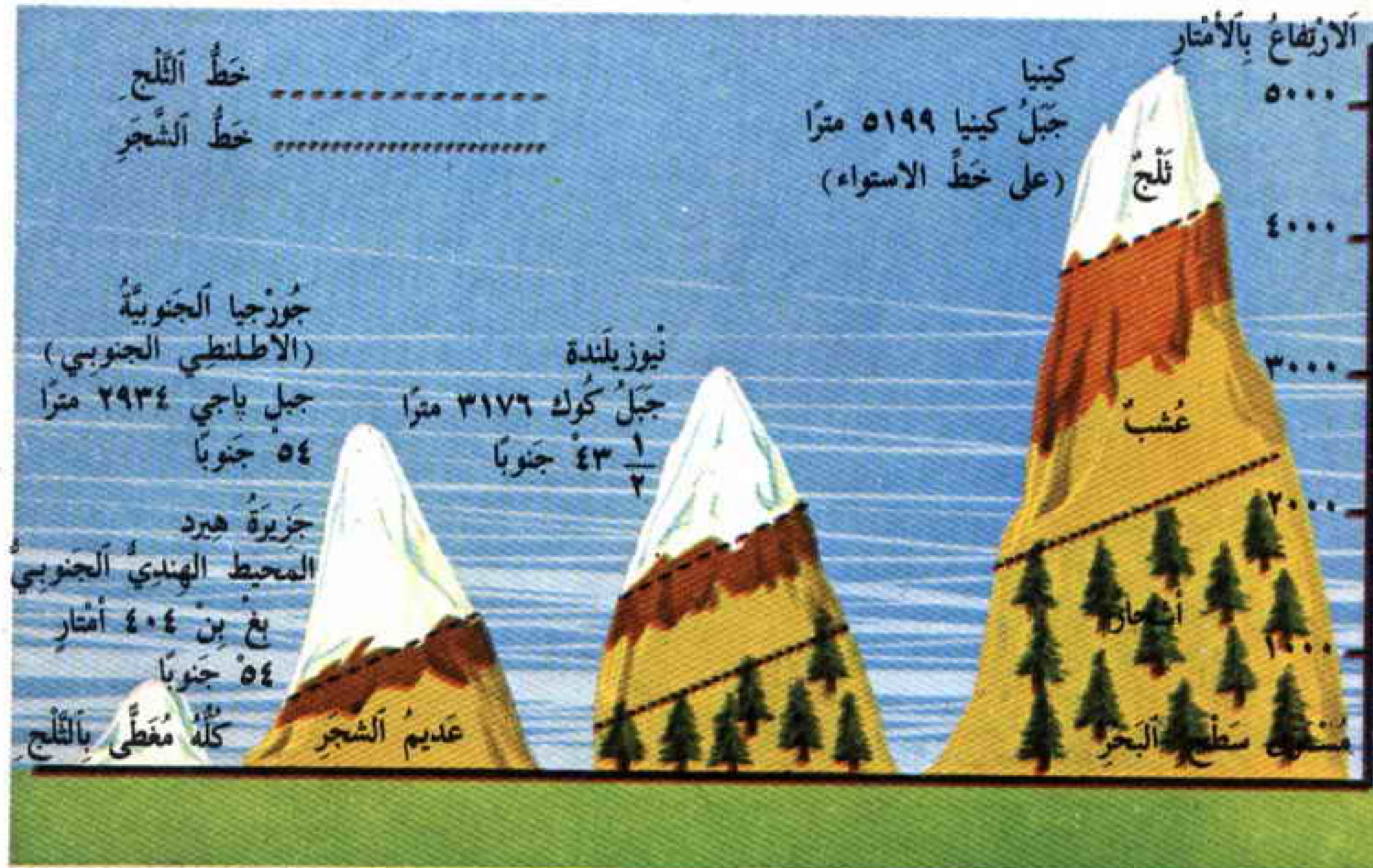
يَتَوَقَّفُ مُناخُ اَلبَلَدِ إلى حَدٍّ بَعيدٍ عَلى مَدى بُعْدِ ذٰلِكَ اَلبَلَدِ شَمالًا أو جَنوبًا عَنْ خَطِّ الاسْتِواء. وَلِطَبيعَةِ اَلتَّضاريسِ وَتَوَزُّعِ اَليابِسَةِ وَاَلبَحْرِ في اَلمِنْطَقَةِ أَهَمِّيَّتُها أَيضًا، كما تُؤَثِّرُ اَلجِبالُ وَتَيّاراتُ اَلمُحيطاتِ وَاَلرِّياحُ في تَحْديدِ اَلمُناخِ.

وَبِاَلإِمْكانِ قِسْمَةُ اَلأَرضِ إلى مَناطِقَ ثَلاثٍ مِن حَيْثُ اَلمُناخُ تُدْعى **اَلمَناطِقَ اَلمُناخِيَّةَ**. فَبِقُرْبِ اَلقُطْبَيْنِ اَلشَّمالِيِّ وَاَلجَنوبِيِّ توجَدُ اَلمِنْطَقَتانِ اَلقُطْبِيَّتانِ وَهُما بارِدَتانِ جِدًّا، وَفيهِما يَسودُ اَلثَّلْجُ وَاَلجَليدُ عَلى مَدارِ اَلسَّنَةِ، بِاَلرَّغْمِ مِنْ أَنَّهُ لا يَسْقُطُ ثَلْجٌ كَثيرٌ هُناكَ. وَهُناكَ فَصْلانِ فَقَطْ: شِتاءٌ مُظْلِمٌ طَويلٌ وَصَيْفٌ مُشْمِسٌ قَصيرٌ يَسْطَعُ نورُ اَلنَّهارِ فيهِ كُلَّ يَومٍ ٢٤ ساعَةً.

وَتَقَعُ اَلمِنْطَقَةُ الاسْتِوائِيَّةُ اَلمَدارِيَّةُ عَلى جانِبَي خَطِّ الاسْتِواء وَهِيَ حارَّةٌ عَلى مَدارِ اَلسَّنَةِ. تَتَمَيَّزُ بَعْضُ أَقْسامِ هٰذِهِ اَلمِنْطَقَةِ بِفَصْلٍ رَطْبٍ وَآخَرَ جافٍّ، بَيْنَما لا

إلى اَليَسارِ

مَيَلانُ اَلشَّمْسِ في حَزيرانَ. اَلوَقْتُ صَيفٌ في نِصْفِ اَلكُرَةِ اَلشَّمالِيِّ وَشِتاءٌ في نِصْفِ اَلكُرَةِ اَلجَنوبِيِّ. وَتَعْتَري اَلمِنْطَقَتَيْنِ اَلقُطْبِيَّتَيْنِ تَغَيُّراتٌ عَظيمَةٌ عَلى مَدارِ اَلسَّنَةِ، فَمِنْ نَهارٍ طيلَةَ اَلصَّيْفِ إلى ظُلْمَةٍ طيلَةَ اَلشِّتاء. أمّا عِنْدَ خَطِّ الاسْتِواء فَيَتَساوى اَللَّيْلُ وَاَلنَّهارُ دائِمًا. هذا ما يَجْعَلُ اَلفُصولَ أَكْثَرَ تَبايُنًا قُرْبَ اَلقُطْبَيْنِ.

إلى اَلأَسْفَلِ

خَطُّ اَلثَّلْجِ هُوَ اَلعُلُوُّ اَلَّذي يَدومُ فيهِ اَلثَّلْجُ عَلى مَدارِ اَلسَّنَةِ. وَخَطُّ اَلشَّجَرِ هُوَ اَلعُلُوُّ اَلَّذي لا تَنْمو فَوْقَهُ أَشْجارٌ. وَهٰذانِ اَلخَطّانِ يَتَدَنَّيانِ كُلَّما اَبْتَعَدْنا عَنْ خَطِّ الاسْتِواء. وَيُرْسَمُ اَلخَطّانِ مائِلَيْنِ لأَنَّ لا مُسْتَوَياتٍ مُحَدَّدَةً بِدِقَّةٍ لَهُما، فَهُما قَد يَخْتَلِفانِ كَثيرًا بَيْنَ جانِبٍ وَآخَرَ مِنَ اَلجَبَلِ نَفْسِهِ.

إلى اَليَسارِ

خَريطَةُ اَلعالَمِ وَتَبْدو عَلَيْها خُطوطٌ بَيانِيَّةٌ لِمُعَدَّلِ سُقوطِ اَلمَطَرِ في اَلمَناطِقِ اَلمُخْتَلِفَةِ.

تَتَميَّزُ ٱلفُصولُ بِشكْلٍ مَلحوظٍ في ٱلأقْسامِ ٱلأُخْرى.

وَتَقعُ ٱلمِنْطَقَتانِ ٱلمُعْتَدِلَتانِ بَيْنَ ٱلمَناطِقِ الاسْتِوائيَّةِ وَٱلقُطْبِيَّةِ. وَتَنْعَمُ هاتانِ ٱلمِنْطَقَتانِ بِدَرَجاتِ حَرارَةٍ مُعْتَدِلَةٍ، لا عالِيَةٍ جِدًّا ولا خَفيضَةٍ جِدًّا. وَمَعَ ذٰلِكَ فَبَعْضُ ٱلأماكِنِ ٱلأشَدِّ رُطوبَةً وإمْطارًا في ٱلعالَمِ تَقَعُ في هاتَيْنِ ٱلمِنْطَقَتَيْنِ. وَهُناكَ عادَةً أرْبَعَةُ فُصولٍ مُتَميِّزَةٌ: ٱلرَّبيعُ وَٱلصَّيْفُ وَٱلخَريفُ وَٱلشِّتاءُ.

وَبَيْنَ ٱلمَناطِقِ ٱلمُناخيَّةِ ٱلثَّلاثِ ٱلرَّئيسيَّةِ يُمْكِنُ تَسْمِيَةُ مَناطِقَ أُخْرى كَٱلمِنْطَقَةِ دون ٱلقُطْبِيَّةِ بَيْنَ ٱلقُطْبِيَّةِ وَٱلمُعْتَدِلَةِ وَٱلمِنطَقَة دونَ ٱلمَدارِيَّةِ بَيْنَ ٱلمُعْتَدِلَةِ وَٱلمَدارِيَّةِ، بِٱلإضافَةِ إلى ٱلمِنْطَقَةِ الاسْتِوائيَّةِ ٱلمَرْكَزِيَّةِ وَسَطَ ٱلمَدارِيَّتَيْنِ.

وَهُناكَ نَوعٌ آخَرُ مِنَ ٱلمَناطِقِ ٱلمُناخِيَّةِ يَقَعُ في أماكِنَ مُخْتَلِفَةٍ عَلى ٱلأرضِ وَهُوَ ٱلمِنْطَقَةُ ٱلقاحِلَةُ ٱلجافَّةُ، حَيثُ يَنْدُرُ سُقوطُ ٱلمَطَرِ وَٱلثَّلْجِ. وَأشْهَرُ هٰذِهِ ٱلمَناطِقِ هِيَ ٱلصَّحارى كَٱلصَّحْراءِ ٱلكُبْرى. كما إنَّ مِنْطَقَةَ ٱلقُطْبِ ٱلجَنوبِيِّ يَنْدُرُ سُقوطُ ٱلثَّلْجِ فيها وَتُعْتَبَرُ مِنْطَقَةً قاحِلَةً وَتُدْعى أحْيانًا ٱلصَّحْراءَ ٱلقُطْبِيَّةَ.

وَٱلمَناطِقُ ٱلمُناخِيَّةُ ما هِيَ إلّا دَليلٌ تَقْريبيٌّ لِمَعْرِفَةِ ٱلمُناخِ، لِأنَّ ٱلمَكانَ ٱلمُعَيَّنَ يَتَأَثَّرُ كثيرًا بِما يُحيطُ بِهِ. فَٱلأماكِنُ ٱلعالِيَةُ مُناخُها أبْرَدُ مِنَ ٱلأماكِنِ قُرْبَ مُسْتَوى ٱلبَحْرِ، وَٱلمَناطِقُ ٱلمُتاخِمَةُ لِلْبَحْرِ شِتاؤُها أدْفَأُ وَصَيْفُها أبْرَدُ مِنَ ٱلمَناطِقِ ٱلدّاخِلِيَّةِ.

وَهُناكَ طَريقَةٌ أُخْرى لِتَقريرِ نَوْعِ ٱلمُناخِ في مَكانٍ ما وَذٰلِكَ بِفَحْصِ ٱلنَّباتاتِ وَٱلحَيَواناتِ فيهِ. فَإذا ٱنْعَدَمَتْ فيهِ ٱلأشْجارُ فَٱلمَكانُ إمّا بارِدٌ أو جافٌّ. وَفي ٱلجِبالِ لا تَنْمو ٱلأشْجارُ فَوْقَ ٱرْتِفاعٍ مُعَيَّنٍ، وَهٰذا يُبَيِّنُ أنَّ بُرودَةَ ٱلمُناخِ تَتَزايَدُ بِالارْتِفاعِ.

أمّا مُشْكِلَةُ ٱلصَّحارى فَهِيَ لَيْسَتِ ٱلبَرْدَ بَلِ ٱنْعِدامُ ٱلماءِ. فَٱلشَّجَرُ يَنمو هُناكَ في ٱلواحاتِ أو قُرْبَ مَجاري ٱلمِياهِ، وَحَيْثُ تَتَوافَرُ ٱلمِياهُ ٱلجَوفِيَّةُ دونَ أنْ يَظْهَرَ لَها أثَرٌ فوقَ سَطْحِ ٱلأرضِ. وَفي ٱلمَناطِقِ الاسْتِوائِيَّةِ تَظَلُّ ٱلأشجارُ خَضْراءَ عَلى مَدارِ ٱلعامِ. وَقَدْ تُثْمِرُ في أيِّ وَقْتٍ مِنَ ٱلسَّنَةِ إذِ ٱلتَّغَيُّراتُ ٱلمَوْسِمِيَّةُ تَكادُ لا تُذْكَرُ.

فَوقُ

طِرازُ ٱلبُيوتِ في مَناطِقَ مُناخِيَّةٍ مُخْتَلِفَةٍ. فَفي بُيوتِ ٱلمِنطَقَةِ ٱلمُعْتَدِلَةِ تَكثُرُ ٱلشَّبابيكُ لِتَزويدِ ٱلمَبنى بِٱلحَرارَةِ وَٱلضَّوءِ. وَفي ٱلمِنْطَقَةِ الاَسْتِوائِيَّةِ تُرْفَعُ ٱلبُيوتُ عَلى رَكائِزَ لِيَتَسَنّى تَبْريدُها بِٱلهَواءِ مِنَ ٱلأسْفَلِ أيْضًا. وَفي ٱلمَناطِقِ ٱلقُطْبِيَّةِ تُجْعَلُ جُدْرانُ ٱلبُيوتِ كَثيفَةً وَٱلنَّوافِذُ صَغيرَةً لِحِفْظِ ٱلحَرارَةِ.

إلى ٱليَمينِ

تَتَمَكَّنُ ٱلحَيواناتُ مِنَ ٱلعَيْشِ في ظُروفٍ مُناخِيَّةٍ قاسِيَةٍ. فَٱلجَمَلُ يَتَمَكَّنُ مِنَ ٱلسَّفَرِ أيّامًا بِدونِ ماءٍ، وَهُوَ يَسُدُّ خَيْشومَهُ لِيَمْنَعَ دُخولَ ٱلغُبارِ إلى أنْفِهِ. وَيَسْتَطيعُ كَلْبُ ٱلأسكيمو ٱلنَّومَ في ٱلثَّلْجِ عِنْدَما تَكونُ ٱلحَرارَةُ ٤٠° مِئَوِيَّةً تَحْتَ ٱلصِّفْرِ. فَبِطانَةُ أقْدامِهِ مُزَوَّدَةٌ بِكَمِّيّاتٍ إضافِيَّةٍ مِنَ ٱلدَّمِ (تُبْقيها وَرْدِيَّةً لا سَوْداءَ) لِتَحْمِيَهُ مِنَ ٱلخَصَرِ وَٱلتَّضَرُّرِ بِٱلصَّقيعِ.

اَلطَّقْسُ

عِنْدَما نَتَكَلَّمُ عَنِ ٱلطَّقْسِ دونَ ٱلمُناخِ فَإِنَّنا نَعْني ٱلأَحْوالَ ٱلجَوِّيَّةَ في وَقْتٍ ما وَلَيْسَ ٱلأَحْوالَ ٱلعامَّةَ عَلى مَدى فَتْرَةٍ طَويلَةٍ.

فَٱلطَّقْسُ هُوَ نَتيجَةُ حالاتٍ في جَوِّ ٱلأَرْضِ، وَهٰذِهِ ٱلحالاتُ تَخْتَلِفُ لِعِدَّةِ أَسْبابٍ، أَحَدُها ٱلوَقْتُ مِنَ ٱلسَّنَةِ. وَيَتَضَمَّنُ ٱلتَّقْريرُ عَنْ حالَةِ ٱلطَّقْسِ، أَوْضاعَ ٱلضَّغْطِ، وَدَرَجَةَ ٱلحَرارَةِ وَٱلرُّطوبَةِ (رُطوبَةِ ٱلهَواءِ)، وَٱلرِّياحَ وَٱلغُيومَ وَهُطولَ ٱلمَطَرِ وَمدى ٱلرُّؤْيَةِ.

وَمِنَ ٱلعَوامِلِ ٱلمُهِمَّةِ في دَرَجَةِ حَرارَةِ ٱلمَكانِ بُعْدُهُ عَنِ ٱلبَحْرِ. فَلِلْبَحْرِ في ٱلشِّتاءِ تَأْثيرٌ مدَفِّئٌ عَلى ٱلأَرْضِ لأَنَّهُ يَخْزُنُ ٱلحَرارَةَ مِنَ ٱلشَّمْسِ في ٱلصَّيفِ وَيفقِدُها بِبُطْءٍ أَكْثَرَ مِنَ ٱليابِسَةِ. وَفي ٱلصَّيفِ لَهُ تَأْثيرٌ مُبَرِّدٌ لِأَنَّهُ يَسْخُنُ بِبُطءٍ بِٱلنِّسْبَةِ إلى ٱليابِسَةِ وَلأَنَّ سَطْحَهُ يَتَحَرَّكُ دَوْمًا. فَرِياحُ ٱلبَحْرِ تَكونُ غالِبًا بارِدَةً وَمُنْعِشَةً في ٱلصَّيفِ.

تَتَجَمَّعُ دَقائِقُ ٱلماءِ ٱلمُتَكَثِّفَةُ مِنْ بُخارِ ٱلماءِ في ٱلجَوِّ في ٱلظُّروفِ ٱلمُلائِمَةِ لِتُؤَلِّفَ قَطَراتِ ٱلماءِ. وَعِنْدَما تُصْبِحُ ٱلقَطَراتُ ثَقيلَةً بِحَيْثُ تَعْجَزُ تَيّاراتُ ٱلهَواءِ ٱلمُرْتَفِعَةُ في ٱلسَّحابَةِ عَنْ حَمْلِها يَبْدَأُ هُطولُ ٱلمَطَرِ.

فَوْقَ

اَلغُيومُ ٱلمُرافِقَةُ لِعُبورِ مُنْخَفَضٍ ضَغْطِيٍّ. اَلغُيومُ هِيَ كُتَلٌ مِنْ بُخارِ ٱلماءِ ٱلمُتَكاثِفِ، وَأَنْواعُ ٱلغُيومِ ٱلرَّئيسِيَّةُ هِيَ ٱلسِّمْحاقُ (سَحابٌ رَقيقٌ مُرْتَفِعٌ) وَٱلطَّبَقِيُّ (وَيَنْتَشِرُ في طَبَقاتٍ رَمادِيَّةٍ تَمْلأُ ٱلفَضاءَ دونَ مَعالِمَ واضِحَةٍ) وَٱلرُّكامِيُّ (سَحابٌ أَبْيَضُ مُنْتَفِشٌ كَٱلقُطْنِ). وَتُضافُ كَلِمَةُ مُزْنِيٍّ إلى ٱسْمِ ٱلغَيْمِ أَو ٱلسَّحابِ إذا كانَ داكِنًا يُبَشِّرُ بِٱلمَطَرِ. فَبِمُلاحَظَةِ شَكْلِ ٱلغُيومِ وَلَوْنِها يُمْكِنُنا ٱلتَّنَبُّؤُ بِٱلأَحْوالِ ٱلجَوِّيَّةِ ٱلمُتَوَقَّعَةِ بِكَثيرٍ مِنَ ٱلدِّقَّةِ.

أَقْصى ٱليَمينِ

ضَبابُ ٱلإِشْعاعِ. هٰذا ٱلنَّوْعُ مِنَ ٱلضَّبابِ يَحْدُثُ غالِبًا في ٱللَّيالي ٱلصّافِيَةِ ٱلسَّماءِ مِنْ فَصْلَيِ ٱلخَريفِ وَٱلشِّتاءِ. فَعِنْدَما تَبْرُدُ ٱلأَرْضُ بِسُرْعَةٍ بِإِشْعاعِ ٱلحَرارَةِ، تَبْرُدُ طَبَقَةُ ٱلهَواءِ ٱلمُلامِسَةُ لِسَطْحِها وَيَتَكاثَفُ بُخارُ ٱلماءِ فيها مُحْدِثًا ٱلضَّبابَ.

إلى ٱليَمينِ

إِعْصارٌ دُوامِيٌّ يَقْتَرِبُ. إِنَّ مَنْظَرَ هٰذا ٱلإِعْصارِ هُوَ مَنْظَرٌ مُرْعِبٌ. وَهٰذا ٱلإِعْصارُ (ٱلمَعْروفُ بِٱلتُّورْنادو) هُوَ عَمودُ هَواءٍ مُدَوِّمٌ قِمَعِيُّ ٱلشَّكْلِ يُرافِقُهُ ضَغْطٌ خَفيضٌ في مَرْكَزِهِ. إِنَّ عُبورَ هٰذا ٱلضَّغْطِ ٱلخَفيضِ ٱلمُفاجِئِ وَما يَصْحَبُهُ مِن رِياحٍ عاتِيَةٍ قَدْ يُحْدِثُ دَمارًا هائِلًا حَتّى في ٱلمَباني ٱلقَوِيَّةِ.

إلى ٱلأَسْفَلِ

بِلَّوْراتٌ مِنْ كِسْفَةٍ ثَلْجِيَّةٍ كَما تَبدو تَحْتَ ٱلمِجْهَرِ.

هُناكَ ثَلاثَةُ أَنْواعٍ رَئيسِيَّةٌ مِنَ ٱلمَطَرِ وَجَميعُها تَسْقُطُ نَتيجَةً لِٱرْتِفاعِ ٱلهَواءِ ٱلرَّطْبِ. فَٱلمَطَرُ ٱلجَبَلِيُّ سَبَبُهُ ٱرْتِفاعُ ٱلرِّياحِ عِنْدَما تَعْتَرِضُها ٱلجِبالُ، فَٱلهَواءُ يَبْرُدُ عِنْدَ ٱرْتِفاعِهِ وَهٰذا يُساعِدُ بُخارَ ٱلماءِ عَلى ٱلتَّكَثُّفِ. وَيَحْدُثُ مَطَرُ ٱلتَّصَعُّدِ عِنْدَما تَسْخُنُ كُتْلَةٌ مِنَ ٱلهَواءِ بِحَرارَةِ ٱلشَّمْسِ حَتّى تُصْبِحَ أَخَفَّ مِنَ ٱلهَواءِ ٱلمُحيطِ بِها فَتَصْعَدُ (وَأَغْلَبُ ما يَحْدُثُ هٰذا في ٱلمَناطِقِ الاسْتِوائِيَّةِ)، وَتُرافِقُ ٱلعَواصِفُ ٱلرَّعْدِيَّةُ ظُروفًا كَهٰذِهِ. أَما ٱلمَطَرُ ٱلجَبْهِيُّ (أَوِ ٱلزَّوبَعِيُّ) فَإِنَّهُ يَنْتُجُ عَنْ تَحَرُّكِ جَبْهَةٍ دافِئَةٍ أَو بارِدَةٍ في مِنْطَقَةِ ضَغْطٍ مُنْخَفِضٍ.

وَيَسْقُطُ ٱلثَّلْجُ عِنْدَما يَكونُ ٱلجَوُّ شَديدَ ٱلبُرودَةِ. وَتَتَأَلَّفُ ٱلكِسْفَةُ ٱلثَّلْجِيَّةُ مِن بَلُّوراتٍ جَليدِيَّةٍ مُتَماسِكَةٍ تَجَمَّدَتْ مُباشَرَةً مِن بُخارِ ٱلماءِ ٱلمُتَكاثِفِ في دَرَجَةِ حَرارَةٍ دونَ دَرَجَةِ ٱلتَّجَمُّدِ فَلَمْ تَمُرَّ بِطَوْرِ ٱلسُّيولَةِ.

وَيَتَأَلَّفُ ٱلبَرَدُ مِن كُرَيّاتٍ جَليدِيَّةٍ صَغيرَةٍ مَصْدَرُها سَحابَةٌ رُكامِيَّةٌ مُزْنِيَّةٌ عالِيَةٌ عِنْدَما تُوجَدُ في ٱلمِنْطَقَةِ تَيّاراتٌ هَوائِيَّةٌ عَنيفَةٌ صاعِدَةٌ. يَحْمِلُ ٱلهَواءُ ٱلصّاعِدُ قَطَراتِ ٱلمَطَرِ حَتّى تَتَجَمَّدَ، وَيَتَجَمَّدُ مَزيدٌ مِنَ ٱلماءِ حَوْلَها. وَفي كَثيرٍ مِنَ ٱلأَحْيانِ تَذوبُ هٰذِهِ ٱلكُرَيّاتُ في أَثْناءِ سُقوطِها ثُمَّ تُرْفَعُ ثانِيَةً لِتَتَجَمَّدَ مِن جَديدٍ.

وَقَدْ تَتَكَرَّرُ هٰذِهِ ٱلعَمَلِيَّةُ عِدَّةَ مَرّاتٍ حَتّى تُصْبِحَ حَبَّةُ ٱلبَرَدِ ثَقيلَةً لِدَرَجَةٍ لا تَسْتَطيعُ مَعَها ٱلرِّياحُ ٱلصّاعِدَةُ حَمْلَها فَتَسْقُطُ عَلى ٱلأَرْضِ حَبّاتٍ كَبيرَةً.

وَٱلضَّبابُ هُوَ بُخارُ ماءٍ مُتَكاثِفٌ لٰكِنَّهُ بِخِلافِ ٱلغُيومِ فَهُوَ يَبْقى عَلى سَطْحِ ٱلأَرْضِ أَو عَلى مَقْرُبَةٍ مِنْهُ. وَٱلضَّبابُ يَحْصُلُ عِنْدَما يَبْرُدُ ٱلهَواءُ ٱلرَّطْبُ. فَمَثَلًا عِنْدَما يَكونُ ٱلطَّقْسُ صافِيًا هادِئًا، يَبْرُدُ سَطْحُ ٱلأَرْضِ في ٱللَّيْلِ لِمَا يُطْلِقُهُ مِن إِشْعاعٍ حَرارِيٍّ، وَيَبْرُدُ مَعَهُ ٱلهَواءُ ٱلمُلامِسُ لِلسَّطْحِ أَيضًا مُحْدِثًا ٱلنَّوعَ ٱلشّائِعَ مِنَ ٱلضَّبابِ ٱلمُسَمّى ضَبابَ ٱلإِشْعاعِ.

أَمّا ٱلضَّبابُ ٱلبُخارِيُّ وَهُوَ غَيْرُ شائِعٍ فَيَحْصُلُ فَوْقَ سَطْحِ ماءٍ دافِئٍ نَوْعًا عِنْدَما يَمُرُّ فَوْقَهُ هَواءٌ بارِدٌ، فَيَظْهَرُ ٱلماءُ ٱلدّافِئُ كَأَنَّهُ يَتَبَخَّرُ.

وَأَخيرًا هُناكَ ضَبابُ ٱلتِّلالِ وَيَحْصُلُ عِنْدَما تَعْتَرِضُ ٱلتِّلالُ تَيّارًا مِنَ ٱلهَواءِ ٱلرَّطْبِ فَتُجْبِرُهُ عَلى ٱلصُّعودِ. وَهٰذا ٱلضَّبابُ هُوَ بِٱلحَقيقَةِ غَيْمٌ طَبَقِيٌّ.

إلى اليسار

مُنْخَفَضٌ ضَغْطِيٌّ كَما يَظْهَرُ عَلى خَريطَةِ ٱلطَّقْسِ. عِنْدَ ٱلجَبْهَةِ ٱلدّافِئَةِ يَرْتَفِعُ ٱلهَواءُ ٱلحارُّ بِبُطْءٍ فَوْقَ ٱلهَواءِ ٱلبارِدِ. وَعِنْدَ ٱلجَبْهَةِ ٱلبارِدَةِ يَدْفَعُ ٱلهَواءُ ٱلبارِدُ ٱلهَواءَ ٱلحارَّ في مَمَرِّهِ. وَٱلجَبْهَةُ هِيَ ٱلخَطُّ ٱلفاصِلُ بينَ كُتْلَتَيْنِ مُخْتَلِفَتَيْنِ مِنَ ٱلهَواءِ.

إلى ٱلأَسْفَلِ

تُسْتَخْدَمُ ٱلأَقْمارُ الاصْطِناعِيَّةُ ٱليَوْمَ لِجَمْعِ مَعْلوماتٍ عَنِ ٱلطَّقْسِ. وَقَدِ ٱلتَقَطَ هٰذِهِ ٱلصّورَةَ ٱلقَمَرُ نِمْبُوس وَتَظْهَرُ فيها غُيومٌ فَوْقَ شَمالِيِّ أُوروبّا.

اَلمادَّةُ

اَلمادَّةُ هِيَ كُلُّ ما يَشْغَلُ فَراغًا وَلَهُ وَزْنٌ، وَمِنْها تَتَأَلَّفُ جَميعُ اَلأشْياءِ. وَتَكونُ إمّا صُلْبَةً كَالْخَشَبِ وَالْحَديدِ، أو سائِلَةً كَالْماءِ وَالزَّيْتِ، أو غازًا كَالْهَواءِ وَالْبُخارِ. وَهٰذِهِ اَلأشْكالُ اَلثَّلاثَةُ هِيَ اَلحالاتُ اَلطَّبيعِيَّةُ اَلثَّلاثُ لِلمادَّةِ.

فَإذا أخَذْتَ مُكَعَّبًا مِنَ اَلجَليدِ وَأحْمَيْتَهُ في قِدْرٍ بِلُطْفٍ فَإنَّهُ يَنْصَهِرُ وَيَتَحَوَّلُ إلى سائِلٍ. وَإذا زِدْتَ في إحْمائِهِ فَإنَّهُ يَغْلي وَيَتَحَوَّلُ إلى بُخارٍ أي إلى غازٍ.

اَلجَوامِدُ لَها شَكْلٌ مُعَيَّنٌ وحَجْمٌ مُعَيَّنٌ وَيَقْتَضي بَذْلُ اَلكَثيرِ مِنَ اَلطّاقَةِ لِتَحْويلِ شَكْلِ اَلجامِدِ، أمّا حَجْمُهُ فَلا يَتَغَيَّرُ إلّا إذا أُحْمِيَ أو بُرِّدَ.

وَلِلسَّوائِلِ حَجْمٌ مُعَيَّنٌ أيضًا، لكِنْ لا شَكْلَ ثابِتًا لَها فَهِيَ تَتَّخِذُ شَكْلَ اَلوِعاءِ اَلَّذي تُصَبُّ فيهِ.

أمّا اَلغازاتُ فَلَيْسَ لَها حَجْمٌ مُعَيَّنٌ وَلا شَكْلٌ مُعَيَّنٌ، فَهِيَ تَنْتَشِرُ لِتَمْلأَ جَميعَ اَلفَراغِ في اَلوِعاءِ اَلَّذي يَحْتَويها. وهكذا يُمكِنُ اَكْتِشافُ حُدوثِ تَسَرُّبِ اَلغازِ في غُرْفَةٍ مِنْ رائِحَتِهِ اَلمُنْتَشِرَةِ في أرجاءِ اَلبَيْتِ.

لَقَدْ ظَهَرَتْ عِدَّةُ آراءٍ حَولَ طَبيعَةِ اَلمادَّةِ مِنْ قَديمِ اَلزَّمانِ. فَقالَ فَلاسِفَةُ اَليونانِ إنَّ اَلمادَّةَ تَتَأَلَّفُ مِن أعْدادٍ كَبيرَةٍ مِنْ جُسَيْماتٍ صَغيرَةٍ غَيرِ قابِلَةٍ لِلتَّجْزِئَةِ أسْمَوْها ذَرّاتٍ. وَفي اَلعُصورِ اَلوُسْطَى انْطَوَتِ اَلآراءُ اَليونانيَّةُ في عالَمِ اَلنِّسيانِ، لكِنَّها بُعِثَتْ مُجَدَّدًا عَلى أيْدي اَلمُفكِّرينَ اَلعُلَماءِ مِنْ أمثالِ بويْل وَنيوتُن في اَلقَرْنَيْنِ اَلسّابِعَ عَشَرَ وَالثّامِنَ عَشَرَ. ثُمَّ تَقَدَّمَ اَلعالِمُ اَلإنْكليزيُّ جون دالتون بِنَظَرِيَّتِهِ اَلذَّرِّيَّةِ في عام ١٨٠٣ اَلقائِلَةِ إنَّ كُلَّ مادَّةٍ تَتَأَلَّفُ مِنْ جُسَيْماتٍ صَغيرَةٍ تُدْعَى ذَرّاتٍ لا تُمْكِنُ تَجْزِئَتُها.

إلى اَليَسارِ

اَلخَشَبُ جامِدٌ صُلْبٌ ذو شَكْلٍ وَحَجْمٍ ثابِتَيْنِ، وَالماءُ سائِلٌ يَتَّخِذُ شَكْلَ اَلوِعاءِ اَلَّذي يَحْتَويهِ وَحَجْمُهُ ثابِتٌ. أمّا اَلغازُ فَلا حَجْمَ ثابِتًا لَهُ ولا شَكْلَ. وَالضَّبابُ اَلَّذي تُرِدُّهُ بِالمِرَذَّةِ هُوَ قَطَراتٌ صَغيرَةٌ مِنَ اَلسّائِلِ يَحْمِلُها غازٌ غَيرُ مَنْظورٍ.

إلى اَليَسارِ

يَقْتَضي بَذْلُ طاقَةٍ كَبيرَةٍ لِتَغْييرِ شَكْلِ جِسْمٍ صُلْبٍ، وَإذا جُمِعَتْ أجْزاؤُهُ اَلمُتَفَرِّقَةُ ثانِيَةً فَإنَّها تَشْغَلُ اَلحَيِّزَ نَفْسَهُ.

أقْصى اَليَسارِ

غرامٌ واحِدٌ من اَلجامِدِ يَشْغَلُ حَيِّزًا أقَلَّ من غرامٍ واحِدٍ مِنَ اَلسّائِلِ، وَهٰذا بِدَوْرِهِ يَشْغَلُ حَيِّزًا أقَلَّ مِنْ غرامٍ مِنَ اَلغازِ. فَالغازُ هُنا يَشْغَلُ حَيِّزًا ألفَ مَرَّةٍ أكبَرَ مِنَ اَلحَيِّزِ اَلَّذي يَشْغَلُهُ اَلجامِدُ.

وَتَتَصَرَّفُ ٱلمَوادُّ ٱلمُخْتَلِفَةُ بِطُرُقٍ مُخْتَلِفَةٍ لأنَّ ذرّاتِها مُخْتَلِفَةٌ. فَٱلماسُ مَثَلًا يَخْتَلِفُ عَنِ ٱلألومِنْيوم لأنَّهُ مُرَكَّبٌ مِن نوعٍ آخَرَ مِنَ ٱلذرات.

وَيَتَعَيَّنُ شَكْلُ ٱلمادَّةِ ، جامِدًا أو سائلاً أو غازًا ، تَبَعًا لِكَيْفِيَّةِ تَراصِّ ٱلذَّرّاتِ فيها. وَٱلذَّرّاتُ تَتَجاذَبُ فيما بَيْنَها ، فَإذا كانَ ٱلتَّجاذُبُ قَوِيًّا كانَ تراصُّ ٱلذَّرّاتِ مُتَقارِبًا فَتُؤَلِّفُ مادَّةً جامِدَةً (صلبة). وَفي ٱلجَوامِدِ تكونُ ٱلذَّرّاتُ ثابِتَةً في أَمْكِنَتِها وَهٰذا ما يَجْعَلُ مِنَ ٱلصَّعْبِ تَغْييرَ شَكْلِ ٱلجامِدِ أو حَجْمِهِ.

وإذا لم يَكُنِ ٱلتَّجاذُبُ قَوِيًّا بَينَ ٱلذَّرّاتِ أمكَنَ لَها ٱلتَّحَرُّكُ فَتُؤَلِّفُ سائلاً أو غازًا. وَعِنْدَ تَسخينِ ٱلجِسْمِ ٱلجامِدِ تَتَزايَدُ حَرَكَةُ ٱلذَّرّاتِ (أي ذَبْذَبَتُها) حَتّى تُفلِتَ بَعْضُها مِن بَعْضٍ فَتُؤَلِّفَ سائلاً وَيُدْعَى ذٰلِكَ ٱلانْصِهارَ. وَٱلجَليدُ مَثَلًا يَنْصَهِرُ مُتَحَوِّلًا إلى ماءٍ.

إنَّ بِٱسْتِطاعَةِ جُسَيْماتِ ٱلسّائِلِ ٱلتَّحَرُّكَ وَٱلتَّنَقُّلَ بِحُرِّيَّةٍ ، لكِنَّها لا تَتَمَكَّنُ مِنَ ٱلإفْلاتِ كُلِّيًّا ، وَهِيَ أَكْثَرُ تَباعُدًا بَعْضُها عَنْ بَعْضٍ من جُسَيْماتِ ٱلجامِدِ لِذا تَشْغَلُ حَيِّزًا أوسَعَ.

وَبِإحْماءِ ٱلسّائِلِ تَتَزايَدُ سُرْعَةُ جُسَيْماتِهِ أكثَرَ فَأكثَرَ حَتّى يَنْتَهِيَ بِها ٱلحالُ إلى ٱلإفلاتِ مِنْ سَطْحِ ٱلسّائِلِ مَتَحَوِّلَةً إلى غازٍ. وَتُعْرَفُ هٰذِهِ ٱلعَمَلِيَّةُ بِٱلتَّبَخُّرِ. وَمَعَ زِيادَةِ إحْماءِ ٱلسّائِلِ وَتَزايُدِ دَرَجَةِ ٱلحَرارَةِ تَتَزايَدُ سُرْعَةُ إفْلاتِ ٱلجُسَيْماتِ وَتَتَصاعَدُ مِنَ ٱلسّائِلِ ٱلفَقاقيعُ ، وَهٰذا هُوَ ٱلغَلَيانُ.

إلى ٱليَمين

ٱلماءُ في حالاتِهِ ٱلثَّلاثِ : ٱلثَّلْجُ جامِدٌ ، ٱلماءُ سائلٌ وَٱلبُخارُ غازٌ.

فَوقُ

في كَأْسٍ مِنَ ٱلماءِ ٱلسّاكِنِ قَطِّرْ نُقْطَةً مِنَ ٱلحِبْرِ (أو ٱللَّبَنِ) بِعِنايَةٍ فَوقَ سَطْحِ ٱلماءِ. ثُمَّ لاحِظِ ٱنْتِشارَ ٱلحِبْرِ (أو ٱللَّبَنِ) في أرجاءِ ٱلكَأْسِ وَذٰلِكَ عائدٌ لِحَرَكَةِ ٱلذَّرّاتِ.

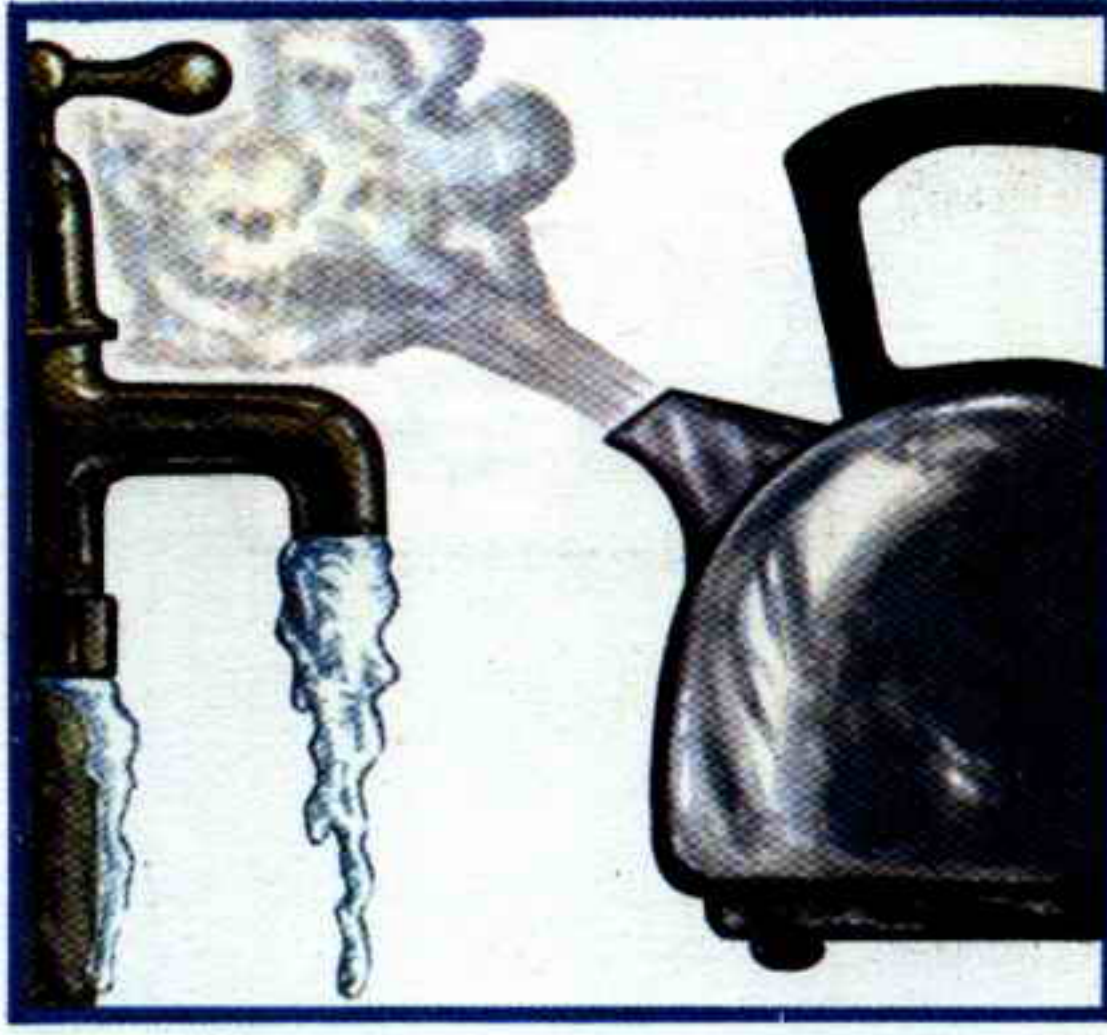
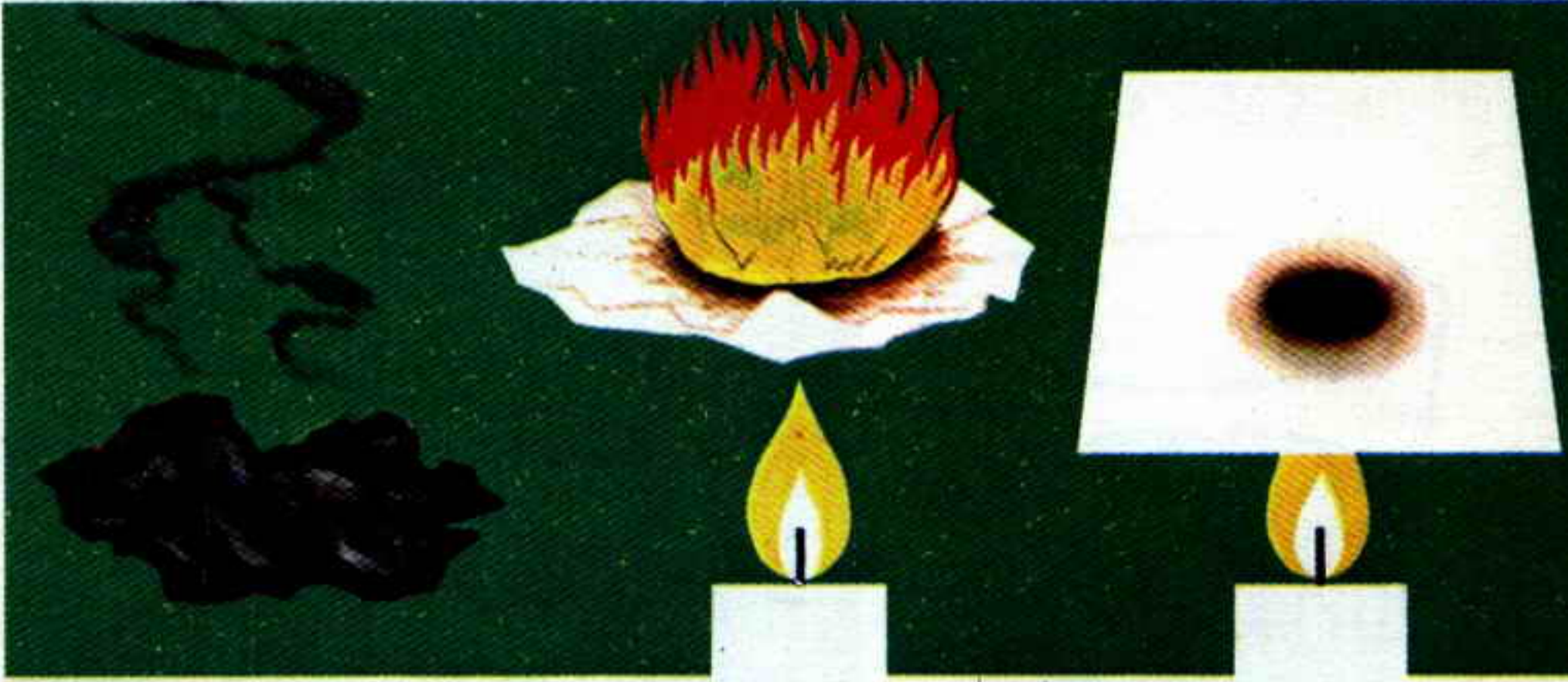
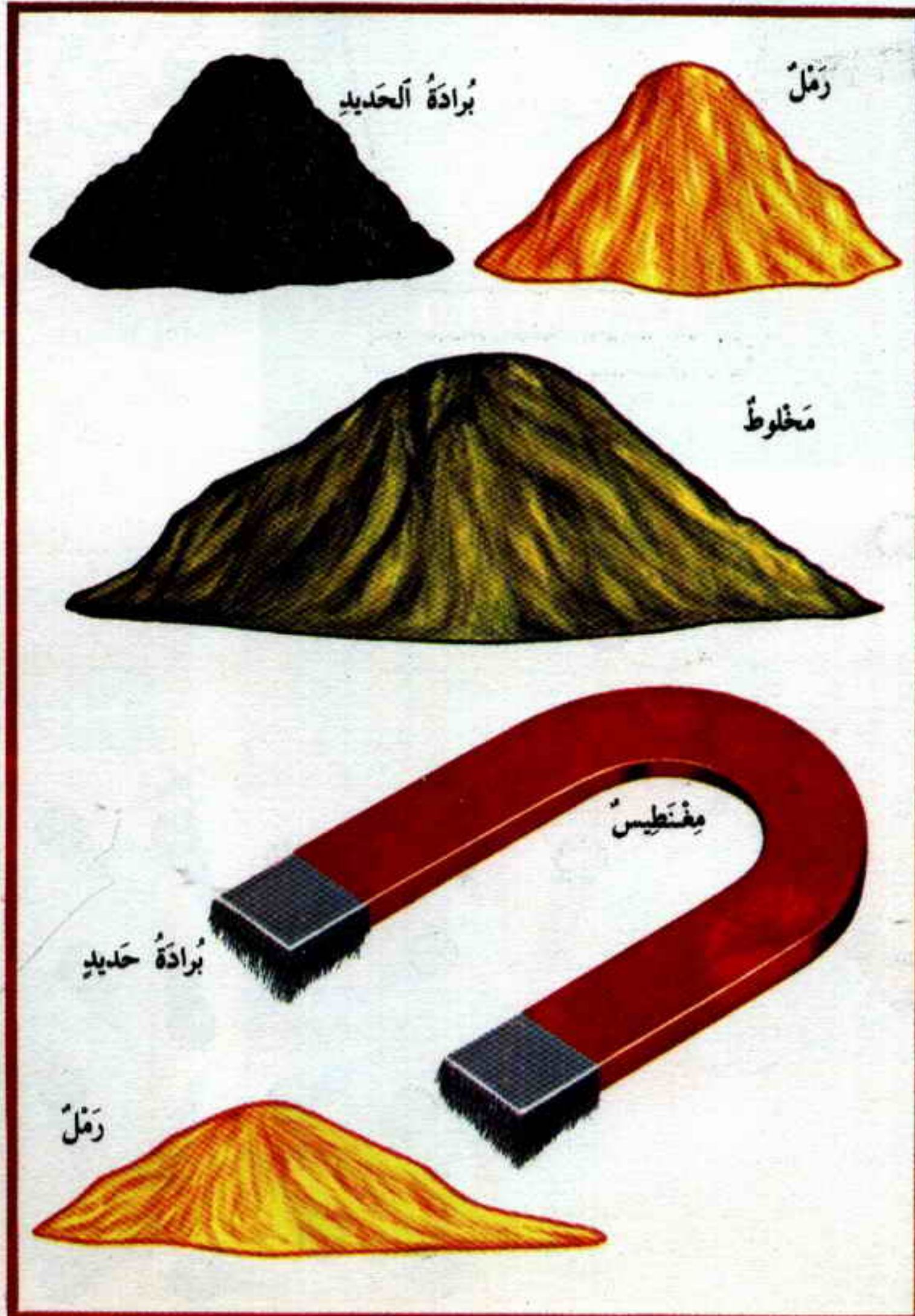
إلى ٱليَمين

ٱلذَّرّاتُ دقيقَةٌ لِلْغايَةِ – فَٱلغرامُ ٱلواحِدُ من فِلِزِّ ٱلنُّحاسِ يَحْوي ما يُقارِبُ ١٠ ... ... ذرَّة.

وَمَواقِعُ ٱلذَّرّاتِ في ٱلجامِدِ ثابِتَةٌ تَتَذَبْذَبُ حَوْلَها تِلْكَ ٱلذَّرّاتُ. وَفي ٱلسّائِلِ تَتَحَرَّكُ ٱلذَّرّاتُ بِحُرِّيَّةٍ أكْثَرَ وَلكِنَّها تَبْقى مُتَقارِبَةً جدًّا. أمّا في ٱلغازِ فَهِيَ سَريعَةُ ٱلحَرَكَةِ وَمُتَباعِدَةٌ جِدًّا.

اَلتَّغَيُّراتُ الطَّبيعِيَّةُ (الفيزيائيَّةُ) والكيماوِيَّةُ

عِنْدَما يُسخَّنُ ٱلجَليدُ يَتَحَوَّلُ إلى ماءٍ وَيُسَمّى هٰذا تَغَيُّرًا طَبيعِيًّا. وفي مِثْلِ هٰذا ٱلتَّغَيُّرِ تُغَيِّرُ ٱلمادَّةُ مَظْهَرَها ٱلخارِجِيَّ فَقَطْ. وَمِنَ ٱلسَّهْلِ إِرْجاعُ ٱلمادَّةِ إلى حالَتِها ٱلأَصْلِيَّةِ، فَإِذا وُضِعَ ٱلماءُ في ٱلثَّلاَّجَةِ يَتَجَمَّدُ وَيَتَحَوَّلُ إلى جَليدٍ. فَٱلتَّغَيُّرُ من ماءٍ إلى جَليدٍ هُوَ عَكْسُ ٱلتَّغَيُّرِ مِنْ جَليدٍ إلى ماءٍ وَهُوَ تَغَيُّرٌ عَكوسٌ أي قابِلٌ لِلاِنْعِكاسِ. وَٱلتَّحَوُّلُ مِن ماءٍ إلى بُخارٍ عِنْدَما تَغْلي ٱلقِدْرُ هُوَ مَثَلٌ آخَرُ عَلى ٱلتَّغَيُّرِ ٱلطَّبيعِيِّ. فَعِنْدَما يَبْرُدُ ٱلبُخارُ يَتَكَثَّفُ وَيعودُ ماءً.

وَيَحْدُثُ تَغَيُّرٌ مِنْ نَوْعٍ آخَرَ عِنْدَما تُحْمى قِطْعَةٌ مِن ٱلوَرَقِ. فَٱلوَرَقَةُ تَسْمَرُّ أَوَّلًا وَتُصْبِحُ قَصِفَةً ثُمَّ تَلْتَهِبُ مُطْلِقَةً حَرارَةً شَديدَةً وَتَنْتَهي إلى رَمادٍ. وَعِنْدَما يَبْرُدُ ٱلرَّمادُ لا يَرْجِعُ وَرَقًا كَما كانَ. لَقَدْ نَتَجَتْ لَدَيْنا مادَّةٌ جَديدَةٌ تَمامًا. وَهٰذا ٱلنَّوْعُ مِنَ ٱلتَّغَيُّرِ هُوَ تَغَيُّرٌ كيماوِيٌّ.

إلى ٱليَسارِ:
أَشْهَرُ ٱلتَّغَيُّراتِ ٱلطَّبيعِيَّةِ ٱلمَعْروفَةِ هِيَ ٱلتَّحَوُّلاتُ بينَ ٱلجَوامِدِ وَٱلسَّوائِلِ وَٱلغازاتِ. فَٱلماءُ يَتَحَوَّلُ إلى بُخارٍ عِنْدَ دَرَجَةِ ٱلحَرارَةِ ١٠٠ْ مِئَوِيَّةٍ في ضَغْطٍ جَوِّيٍّ عادِيٍّ. وَعِنْدَما يَبْرُدُ ٱلماءُ إلى ما دونَ ٱلصِّفْرِ يَتَحَوَّلُ إلى جَليدٍ. وَكِلا هٰذَيْنِ ٱلتَّحَوُّلَيْنِ عَكوسانِ.

فَوْقُ
إِحْتِراقُ قِطْعَةِ ٱلوَرَقِ هُوَ تَغَيُّرٌ كيماوِيٌّ. فَٱلوَرَقُ وَٱلرَّمادُ مُخْتَلِفانِ. وإِنَّهُما مادَّتانِ مُخْتَلِفَتانِ، لكنَّ ٱلماءَ وَٱلجَليدَ وَٱلبُخارَ هي حالاتٌ مُخْتَلِفَةٌ لِلْمادَّةِ نَفْسِها.

إلى ٱليَسارِ
بِٱلإِمْكانِ فَرْزُ مَزيجٍ مِنَ ٱلرَّمْلِ وَبُرادَةِ ٱلحَديدِ بِمِغْنَطيسٍ. هٰذا ٱلمَزيجُ هُوَ تَحَوُّلٌ طَبيعِيٌّ فَقَطْ لِأَنَّ ٱلرَّمْلَ وَبُرادَةَ ٱلحَديدِ لا يَتَفاعَلانِ كيماوِيًّا.

وَالواقِعُ أنَّ الوَرقَ يَتحوَّلُ بِبُطءٍ كُلَّ الوَقتِ، وَلِذا نَجدُ الوَرقَ العَتيقَ مُصفرًّا سَهلَ التَّفَتُّتِ.

راجِع التَّغيُّراتِ اليَوميَّةَ الَّتي تُشاهِدُها حَولَكَ وَحاوِلْ أنْ تُصنِّفَها إلى تَغيُّراتٍ طَبيعيَّةٍ أو كيماويَّةٍ. في الطَّقسِ الحارِّ تُصبحُ الزُّبدَةُ طَريَّةً وَعِندَما تَعودُ جامِدَةً فَهٰذا تَغيُّرٌ عَكوسٌ وَهُوَ تَغيُّرٌ طَبيعيٌّ. أمّا الحَليبُ المَتروكُ فَيَكتَسِبُ حُموضَةً، وَلَيسَ بِالامكانِ إعادَتُهُ إلى حَليبٍ طازَجٍ. إنَّهُ تَغيُّرٌ غَيرُ قابِلٍ لِلانعِكاسِ أي لا عَكوسٌ وَهُوَ مَثَلٌ عَلى التَّغيُّرِ الكيماويِّ.

وَإذا مَزَجْنا بُرادَةَ الحَديدِ مَعَ الرَّملِ يَنتُجُ مَخلوطٌ أكمَدُ رَماديٌّ. بِالإمكانِ فَصلُ بُرادَةِ الحَديدِ عَنِ الرَّملِ بِمِغنَطيسٍ. وَإذا فَحَصْتَ المَزيجَ بِعَدَسَةٍ مُكَبِّرَةٍ، تُشاهِدُ حَبّاتِ الرَّملِ مُتَميِّزَةً عَنْ بُرادَةِ الحَديدِ. فَلَمْ تَحصُلْ هُنا مادَّةٌ جَديدَةٌ، فَهٰذا المَزيجُ هُوَ إذًا تَغيُّرٌ طَبيعيٌّ.

رُجَّ بَعضَ السُّكَّرِ وَالماءِ في كَأسٍ فَيَذوبَ السُّكَّرُ في الماءِ. وَبِالرَّغمِ مِنْ أنَّ المَحلولَ يَبدو صافيًا عَديمَ اللَّونِ، فَبِالإمكانِ استِعادَةُ السُّكَّرِ بِتَركِ الماءِ يَتَبخَّرُ فَتَبقى بِلَّوراتُ السُّكَّرِ. فَذَوَبانُ السُّكَّرِ في الماءِ تَغيُّرٌ طَبيعيٌّ.

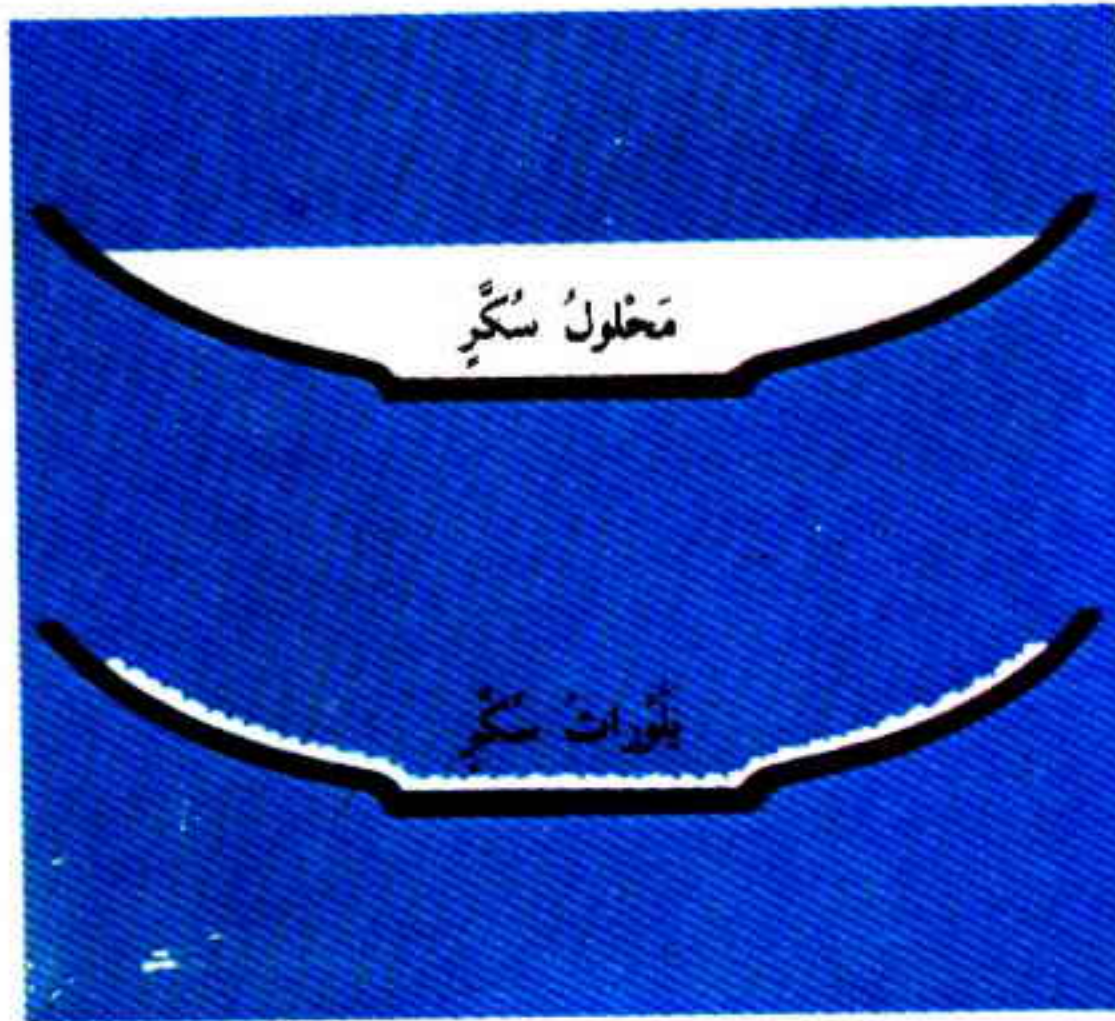
لٰكِنْ إذا غَمَرْتَ بَعضَ المَساميرِ الحَديديَّةِ الصَّقيلَةِ في الماءِ تَجِدُ أنَّها تَصدَأُ بَعدَ حينٍ. وَالصَّدَأُ المُتَكوِّنُ هُوَ مادَّةٌ جَديدَةٌ نَتَجَتْ مِنْ تَفاعُلِ حَديدِ المَساميرِ وَالأكسِجينِ الذّائبِ في الماءِ. وَإنَّهُ لَمِنَ العَسيرِ حَقًّا استِعادَةُ الحَديدِ مِنَ الصَّدَإِ، فَالصَّدَأُ هُوَ تَغيُّرٌ كيماويٌّ.

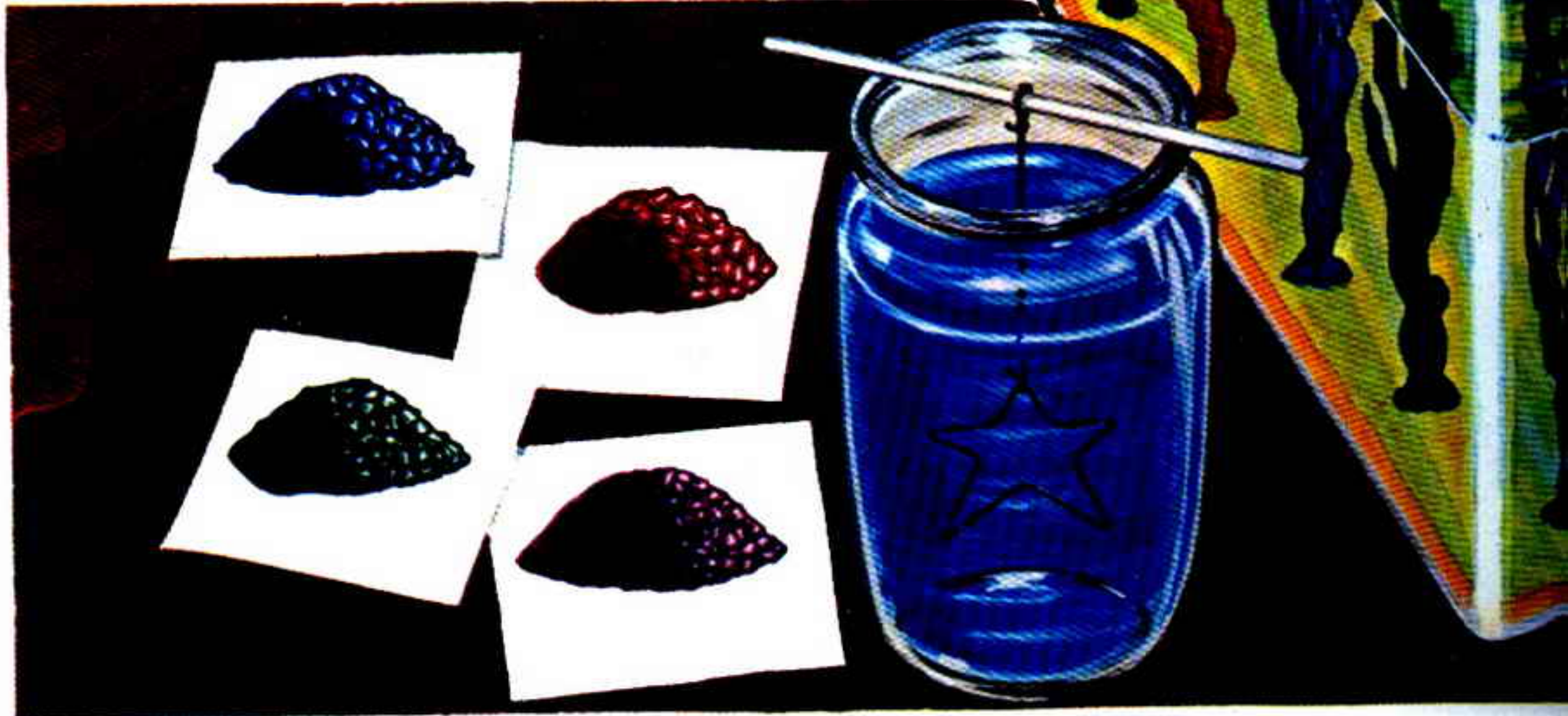
وَالكَثيرُ مِنَ التَّغيُّراتِ الَّتي تَحدُثُ في الطَّبيعَةِ هي تَغيُّراتٌ كيماويَّةٌ. فَالعُشبُ في جَوفِ البَقَرَةِ يَتَحوَّلُ إلى حَليبٍ، وَلَيسَ مِنْ طَريقَةٍ لإعادَةِ الحَليبِ إلى عُشبٍ. وَالتَّغيُّراتُ الحاصِلَةُ عِندَ طَبخِ الطَّعامِ هِيَ تَغيُّراتٌ كيماويَّةٌ، فَلَيسَ بِالإمكانِ إرجاعُ شَقَفِ البَطاطا المَقلوَّةِ مَثَلاً إلى بَطاطا نَيِّئَةٍ.

تحت إلى اليمين

مَحلولُ سُكَّرٍ وَماءٍ في طَبَقٍ. بَعدَ بِضعَةِ أيامٍ يَتَبخَّرُ الماءُ وَتَبقى بِلَّوراتُ السُّكَّرِ. هٰذا تَغيُّرٌ طَبيعيٌّ.

تحتُ

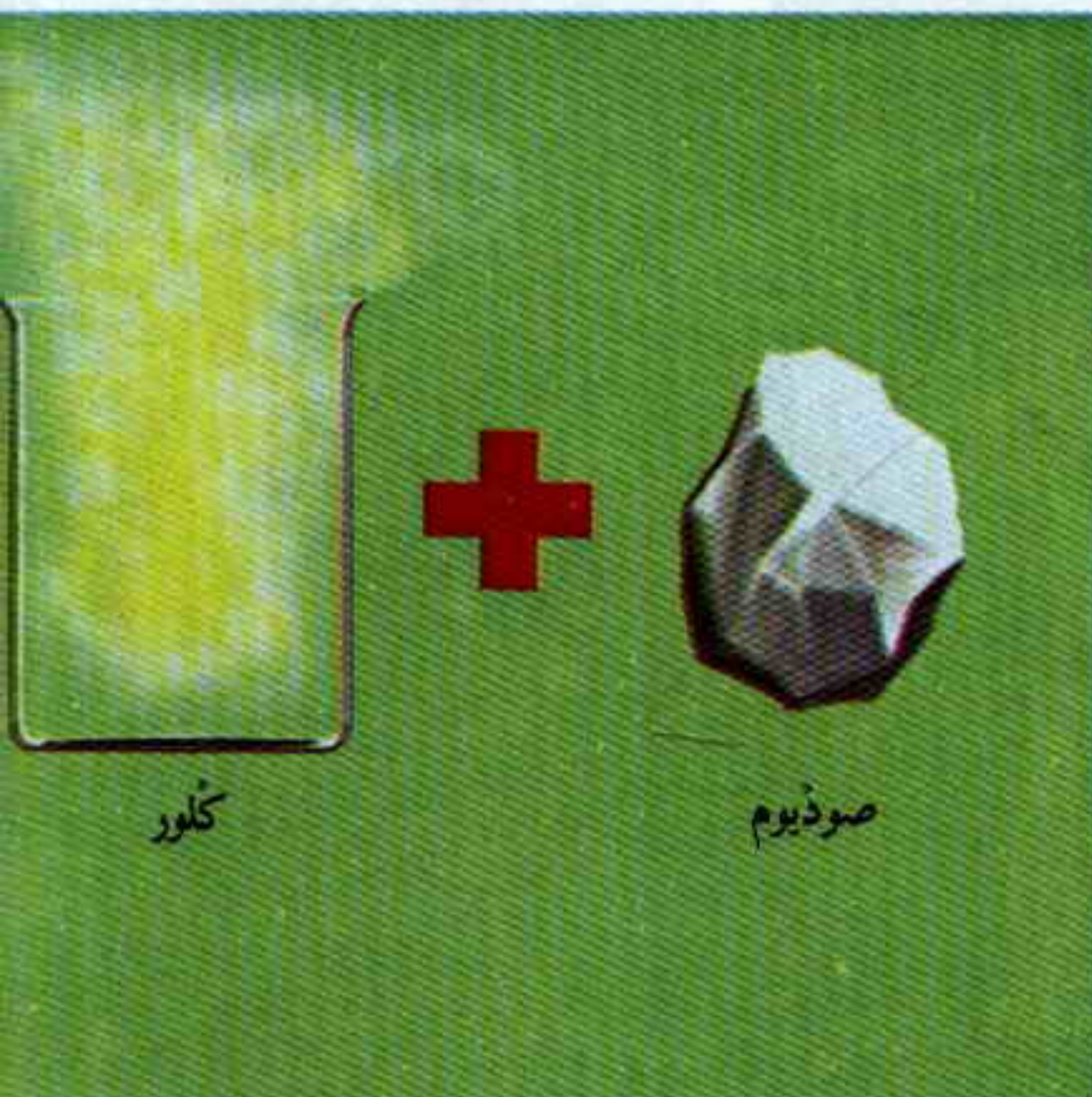
في التَّغيُّراتِ الكيماويَّةِ تَنتُجُ مَوادُّ جَديدَةٌ. وَأحَدُ أبرزِ هٰذِهِ التَّغيُّراتِ هُوَ الاحتِراقُ. كانَ الكيميائيّونَ يَعتَقِدونَ فيما مَضى أنَّ كُلَّ الأشياءِ تَحتَوي عَلى مادَّةِ التِهابٍ تَترُكُ الأجسامَ عِندَما تَحتَرِقُ. وَفي القَرنِ السّادِسَ عَشَرَ بَرهَنَ لافوازييه أنْ لا صِحَّةَ لِهٰذا الرَّأيِ وَأنَّ الأجسامَ عِندَما تَحتَرِقُ تَتَّحِدُ مَعَ الأكسِجينِ المَوجودِ في الهَواءِ. وَالتَّجرِبَةُ المُبيَّنَةُ أدناهُ تُثبِتُ أنَّ الأشياءَ لا تَحتَرِقُ بِدونِ أكسِجينٍ، فَعِندَما يُستَهلَكُ الأكسِجينُ في هَواءِ المَرطَبانِ تَنطَفِئُ الشَّمعَةُ.

إلى اليمين

حَديقَةٌ كيماويَّةٌ. هٰذِهِ المَجموعَةُ مِنَ النَّوامي الشَّبيهَةِ بِالنَّباتاتِ هِيَ نَتيجَةُ تَحوُّلاتٍ طَبيعيَّةٍ وَكيماويَّةٍ تَعرَّضَتْ لَها بَعضُ البِلَّوراتِ. وَلِكَي تَحصُلَ عَلى مِثلِ هٰذِهِ الحَديقَةِ الكيماويَّةِ، افرُشْ بَعضَ الرَّملِ في حَوضٍ وَاسكُبْ كَمّيَّةً مِن مَحلولِ الزُّجاجِ المائيِّ. أضِفْ بَعضَ البِلَّوراتِ مِثلَ سُلفاتِ الحَديدِ أوِ النُّحاسِ أو شَبَّةِ الكرومِ أو ثاني كرُوماتِ البوتاسيومِ. وَفي مَدى بِضعِ ساعاتٍ قَليلَةٍ تَظهَرُ فُروعُ النَّوامي مُنتَصِبَةً. وَلِكَي تَعرِضَ تَغيُّرًا طَبيعيًّا صِرفًا وَغَريبًا مِنْ نَوعِهِ، اربُطْ بِلَّورَةً دَقيقَةً مِنْ بِلَّوراتِ الشَّبَّةِ وَعَلِّقْها في وِعاءٍ يَحوي مَحلولَ الشَّبَّةِ وَراقِبْ نُمُوَّ البِلَّورَةِ (في بِضعَةِ أيامٍ).

اَلعَناصِرُ وَاَلمُرَكَّباتُ

اَلخَشَبُ وَاَلماءُ وَاَلهَواءُ وَاَلألومينيوم وَاَلوَرَقُ وَاَلرَّمادُ وَاَلزَّيْتُ وَاَلحَليبُ وَاَلسُّكَّرُ وَاَلعُشْبُ هِيَ بَعْضُ اَلأَمْثِلَةِ مِن مَلايينِ اَلمَوادِّ اَلمُخْتَلِفَةِ اَلمَعْروفَةِ. وَكانَ اَلفَيلَسوفُ اَليونانِيُّ اَلشَّهيرُ أَرِسْطو مُنْذُ أَكْثَرَ مِن أَلْفَيْ سَنَةٍ يَعْتَقِدُ أَنَّ جَميعَ اَلمَوادِّ تَتَكَوَّنُ مِن أَربَعَةِ عَناصِرَ فَقَطْ هِيَ اَلتُّرابُ وَاَلماءُ وَاَلنّارُ وَاَلهَواءُ. فَاَلخَشَبُ في رَأْيِهِ يَتَأَلَّفُ مِنَ اَلنّارِ وَاَلتُّرابِ لأَنَّهُ بِالاحْتِراقِ يَتَحَوَّلُ إلى رَمادٍ.

وَفي مائَتَي اَلسَّنَةِ اَلأَخيرَةِ فَقَطْ تَوَصَّلْنا إلى اَكْتِشافِ أَنَّ اَلمَلايينَ مِنَ اَلمَوادِّ اَلمُخْتَلِفَةِ كُلَّها مُرَكَّبَةٌ مِن حَوالى ١٠٠ (اَلرَّقْمُ اَلمُحَدَّدُ حالِيًّا ١٠٥) مادَّةٍ بَسيطَةٍ تُدْعى عَناصِرَ. وَاَلعُنْصُرُ يُعَرَّفُ هُنا بِأَنَّهُ اَلمادَّةُ اَلَّتي لا يُمكِنُ تَحليلُها إلى مادَّةٍ أَبْسَطَ.

بَعْضُ اَلعَناصِرِ شائِعٌ جِدًّا وَمِنْها اَلحَديدُ، وَكَذٰلِكَ اَلأُكْسِجين وَهُوَ غازٌ غَيْرُ مَنْظورٍ يُؤَلِّفُ حَوالى خُمْسِ اَلهَواءِ اَلَّذي نَتَنَشَّقُهُ.

أَمّا اَلصَّدَأُ اَلَّذي نُشاهِدُهُ على عُلَبِ اَلتَّنَكِ اَلقَديمَةِ وَقُضبانِ اَلحَديدِ وَهَياكِلِ اَلسَّيّاراتِ كَمَسْحوقٍ مُتَفَتِّتٍ أَحْمَرَ فَهُوَ مُرَكَّبٌ. وَهُوَ لا يُشْبِهُ بِشَيْءٍ أَيًّا مِنَ اَلحَديدِ اَلصَّقيلِ أو غازِ اَلاكْسِجين اَللّامَنْظور اَللَّذَيْنِ يَتَرَكَّبُ مِنْهُما. وَاَلكيمِيائِيّونَ يُسَمّونَ اَلصَّدَأَ أُكْسيدَ اَلحَديدِ. فَأُكْسيدُ اَلحَديدِ اَلمُؤَلَّفُ مِن عُنْصُرَيِ اَلحَديدِ وَاَلأُكْسِجينِ هُوَ مَثَلٌ عَلى اَلمُرَكَّبِ، أَمّا تَحَوُّلُ اَلحَديدِ وَاَلأُكْسِجينِ إلى أُكْسيدِ اَلحَديدِ فَهُوَ مَثَلٌ عَلى اَلتَّغَيُّرِ اَلكيماوِيِّ حَيْثُ تَخْتَلِفُ اَلمادَّةُ اَلنّاتِجَةُ تَمامًا عَنِ اَلعَناصِرِ

مندليف

أَرِسْطو

فَوْقُ

أَرِسْطو اَلفَيلَسوفُ اَليونانِيُّ اَلشَّهيرُ. وُلِدَ عامَ ٣٨٤ قَبْلَ اَلميلادِ. عاشَ في آثينا وَأَلَّفَ كُتُبًا عَديدَةً في اَلعُلومِ اَلطَّبيعِيَّةِ.

فَوْقُ إلى اَليَسارِ

ديمِتْري إيفانوفِتْش مندليف الكيميائِيُّ اَلرّوسِيُّ. وُلِدَ عامَ ١٨٣٤. وَضَعَ اَلجَدْوَلَ اَلدَّوْرِيَّ لِلعَناصِرِ حَيْثُ نُظِّمَتِ اَلعَناصِرُ ذاتُ اَلخَواصِّ اَلمُتَماثِلَةِ في عَواميدَ. وَقَدْ سُمِّيَ أَحَدُ اَلعَناصِرِ مندليفيوم تَخْليدًا لِذِكْراه.

ميزانُ حَرارَةٍ زِئْبَقِيٌّ

طائِرَة (الومنيوم)

جهازُ تَنَفُّسٍ (أكسجين)

كِبْريتٌ طَبيعِيٌّ

صوديوم

كلور

إلى اَليَسارِ

هٰذِهِ بَعْضُ اَلعَناصِرِ اَلشّائِعَةِ. اَلزِّئْبَقُ سائِلٌ فِضِّيٌّ يُسْتَعْمَلُ في صُنْعِ مَوازينِ اَلحَرارَةِ. اَلألومِنيوم مَعْدِنٌ فِضِّيٌّ يُسْتَخْدَمُ في صُنْعِ أَغْطِيَةِ قَناني اَلحَليبِ وَكَذٰلِكَ في صِناعَةِ اَلطّائِراتِ لأَنَّهُ خَفيفٌ مَتينٌ. اَلأُكْسِجينُ غازٌ غَيْرُ مَنْظورٍ وَهُوَ ضَرورِيٌّ لِلاحْتِراقِ وَلِلتَّنَفُّسِ. اَلكِبْريتُ عُنْصُرٌ أَصْفَرُ يُدْعى غَيْرُ اَلمُتَبَلِّرِ مِنْهُ زَهْرَ اَلكِبْريتِ.

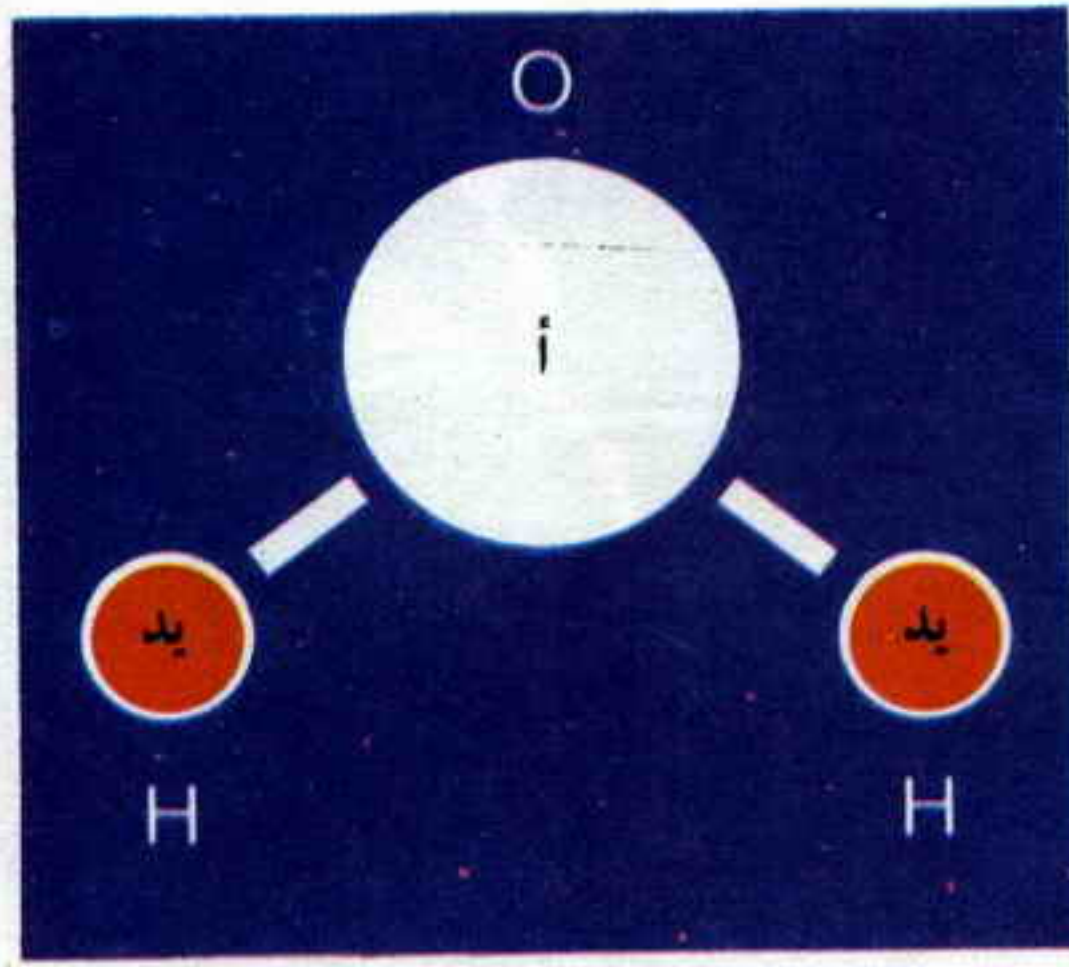
ٱلَّتِي تَتَأَلَّفُ مِنْها.

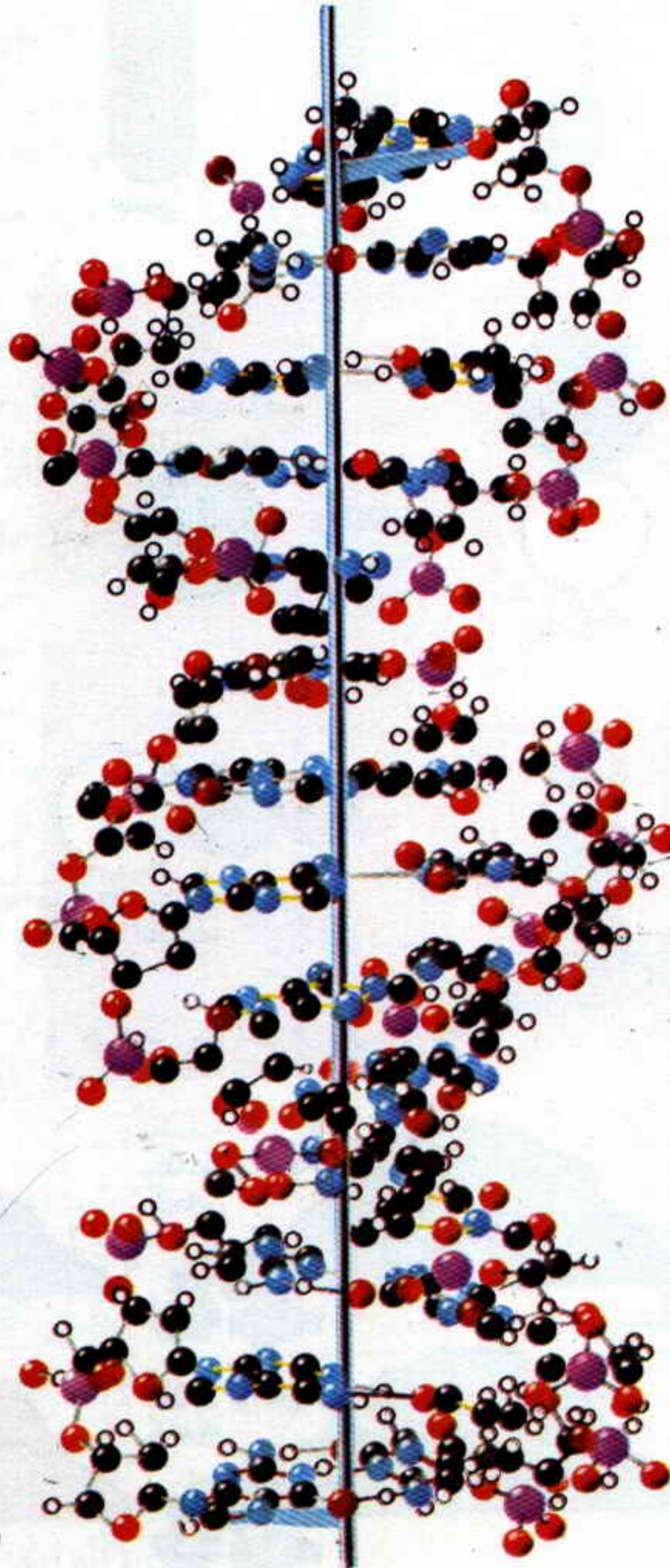
وَهُناكَ مَوادُّ أُخْرَى غَيرُ ٱلعَناصِرِ وَٱلمُرَكَّبات وهي ٱلمَخْلوطاتُ (أو ٱلمزيجاتُ). فَإذا خَلَطْنا مَسحوقَ ٱلحَديدِ مَعَ ٱلرَّمْلِ تَظَلُّ حُبَيْباتُ ٱلرَّمْلِ وَٱلحَديدِ بادِيَةً في ٱلمَخْلوطِ. وَمِنَ ٱلسَّهْلِ فَصْلُ ٱلحَديدِ عَنِ ٱلرَّمْلِ فَلَيْسَتْ هُناكَ مِن مادَّةٍ جَديدَةٍ، فَخَلْطُ ٱلحَديدِ مَعَ ٱلرَّمْلِ هُوَ تَغَيُّرٌ طَبيعِيٌّ. وَمادَّةُ حَشْوِ ٱلأَسْنانِ هِيَ مَزيجٌ مِن عَناصِرِ ٱلزِّئْبَقِ وَٱلقَصْديرِ وَٱلفِضَّةِ وَٱلزِّنْكِ (ٱلخارِصين). وَٱلهَواءُ أَيْضًا هُوَ مَزيجٌ مِنْ غازاتِ ٱلنِّيتْروجين وَٱلأُكْسِجين (انظر صفحة ٢٨).

في عام ١٨٠٣ تَقَدَّمَ جون دالْتون بِنَظَرِيَّةٍ مَفادُها أَنَّ جَميعَ ٱلعَناصِرِ تَتَأَلَّفُ مِن مَلايينِ ٱلمَلايينِ مِنَ ٱلجُسَيْماتِ ٱلدَّقيقَةِ ٱلَّتي دَعاها ذَرّاتٍ.

فَٱلحَديدُ كَغَيْرِهِ مِنَ ٱلعَناصِرِ يَتَأَلَّفُ مِن ذَرّاتِ ٱلحَديدِ وَهٰذِهِ تَخْتَلِفُ عَنْ ذَرّاتِ ٱلأُكْسِجينِ. لِذٰلِكَ كانَتْ خَصائِصُ ٱلحَديدِ وَطَبيعَتُهُ مُخْتَلِفَةً عَنْ خَصائِصِ ٱلأُكْسِجين وَطَبيعَتِهِ. وَعِنْدَما يَتَفاعَلُ ٱلحَديدُ وَٱلأُكْسِجينُ لِيُكَوِّنا ٱلصَّدَأَ تَتَّحِدُ ذَرّاتُ ٱلحَديدِ مَعَ ذَرّاتِ ٱلأُكْسِجينِ لِتُؤَلِّفَ مَجْموعاتٍ صَغيرَةً مِنَ ٱلذَّرّاتِ تُدْعَى جُزَيْئاتٍ. فَأَصْغَرُ جُسَيْمٍ في ٱلعُنْصُرِ هُوَ ٱلذَّرَّةُ، أَمّا أَصْغَرُ جُسَيْمٍ في ٱلمُرَكَّبِ فَهُوَ ٱلجُزَيْءُ.

وَٱلمُرَكَّبُ ٱلأَكْثَرُ ٱنْتِشارًا عَلى ٱلأَرضِ هُوَ ٱلماءُ وَيَتَأَلَّفُ مِن عُنْصُرَيْنِ هُما ٱلأُكْسِجين وَٱلهَيْدروجين، وَهٰذا ٱلأَخيرُ غازٌ خَفيفٌ جِدًّا وَغَيْرُ مَنْظورٍ. وَتَتَأَلَّفُ جُزَيْئاتُ ٱلماءِ مِنْ ذَرّاتِ ٱلهَيْدروجين وَذَرّاتِ ٱلأُكْسِجينِ. وَلَيْسَتْ جُزَيْئاتُ جَميعِ ٱلمُرَكَّباتِ بَسيطَةً كَجُزَيْءِ ٱلماءِ. فَبَعْضُ ٱلمُرَكَّباتِ يَتَأَلَّفُ مِن جُزَيْئاتٍ كَبيرَةٍ جِدًّا يَحْوي ٱلجُزَيْءُ مِنْها ذَرّاتٍ عَديدَةً.

إلى ٱليَمين

تَتَأَلَّفُ ٱلعَناصِرُ من جُسَيْماتٍ عَديدَةٍ تُدعَى ذَرّاتٍ، وَتَتَأَلَّفُ ٱلمُرَكَّباتُ مِنْ جُسَيْماتٍ صَغيرَةٍ تُدعَى جُزَيْئاتٍ، وَٱلجُزَيْئاتُ تَتَأَلَّفُ مِن ذَرّاتٍ. فَٱلماءُ مَثَلًا مُرَكَّبٌ مِن عُنْصُرَي ٱلهَيْدروجين وَٱلأُكْسِجين. وَجُزَيْءُ ٱلماءِ يَتَأَلَّفُ مِن ذَرَّتَي هَيْدروجين وَذَرَّةِ أُكْسِجين.

إلى ٱليَمين

بَعْضُ ٱلمُرَكَّباتِ مُعَقَّدٌ لِلغايَةِ وَجُزَيْئاتُهُ كَبيرَةٌ جِدًّا. وَهٰذا نَموذَجُ جُزَيْءِ ٱلحامِضِ ٱلخَلَوِيِّ ديوكسيرايبو ٱلمُسَمّى ٱخْتِصارًا (دنأ) وَهُوَ مَوْجودٌ في ٱلخَلايا ٱلحَيَّةِ.

كلوريد ٱلصُّوديوم (مِلْح ٱلطَّعام)

إلى أَقْصى ٱليَمين

ٱلصُّوديوم ٱلعُنْصُرُ فِلِزِّيٌّ فِضِّيٌّ رَمادِيُّ ٱللَّونِ. وَٱلكلور غازٌ أَصْفَرُ مُخْضَرٌّ سامٌّ. وَعِنْدَما يَتَّحِدانِ كِماوِيًّا يَتَأَلَّفُ مُرَكَّبٌ يُدْعَى كلوريد ٱلصُّوديوم وَهُوَ ٱلمَعْروفُ بِمِلْحِ ٱلطَّعامِ.

اَلحَوامِضُ وَالقِلوِيّاتُ (القَواعِدُ) وَالأَملاحُ

بِالرَّغمِ مِنْ أَنَّهُ لا يُوجَدُ سِوى ٩٢ عُنصُرًا طَبيعِيًّا، فَإِنَّ هُناكَ مَلايينَ المُرَكَّباتِ الكِماوِيَّةِ. وَلِكُلٍّ مِن هٰذِهِ المُرَكَّباتِ أَو بِالأَحرى لِكُلِّ نَوعٍ مِنها خَواصُّهُ وَتَفاعُلاتُهُ المُمَيِّزَةُ. وَمِنْ أَنواعِ هٰذِهِ المُرَكَّباتِ المُهِمَّةِ فِئَةُ الحَوامِضِ.

وَأَحَدُ الأَمثِلَةِ عَلى الحَوامِضِ هُوَ حامِضُ الكِبريتيك المُستَعمَلُ في بَطّارِيّاتِ السَّيّاراتِ وَهُوَ سائِلٌ سامٌّ يُتلِفُ الكَثيرَ مِنَ المَوادِّ وَيَحرُقُ الجِلدَ لِأَنَّهُ مِنَ الحَوامِضِ القَوِيَّةِ الأَكّالَةِ.

وَلَيسَتْ جَميعُ الحَوامِضِ عَلى هٰذِهِ الدَّرَجَةِ مِنَ الخُطورَةِ، فَبَعضُ السَّوائِلِ الشّائِعَةِ كَالخَلِّ وَعَصيرِ اللَّيمونِ هِيَ مِنَ الحَوامِضِ. وَجَميعُ الحَوامِضِ لَها طَعمٌ لاذِعٌ. وَبَعضُ النَّباتاتِ وَالحَيَواناتِ تَستَخدِمُ الحَوامِضَ كَسِلاحٍ، فَالمَوادُّ اللّاذِعَةُ في لَسعِ النَّملِ وَالنَّحلِ وَالقُرّاصِ هِيَ حَوامِضُ. وَالغازُ الَّذي تَزفِرُهُ الحَيَواناتُ هُوَ ثاني أُكسيدِ الكَربون وَمَحلولُهُ في الماءِ حامِضٌ ضَعيفٌ لِلغايَةِ وَغَيرُ أَكّالٍ. وَماءُ الصّودا الَّذي نَشرَبُهُ بِأَنواعِهِ غَنِيٌّ بِثاني أُكسيدِ الكَربون.

وَالقَواعِدُ هِيَ نَوعٌ آخَرُ مُهِمٌّ مِنَ المُرَكَّباتِ، وَالَّذي يَذوبُ مِنها في الماءِ يُسَمّى قِلْيًا أَو قِلوِيًّا. وَالقِلوِيّاتُ هِيَ في الغالِبِ مُرَكَّباتٌ خَطِرَةٌ تَأثيرُها كاوٍ في الجِلدِ. يَحوي رَمادُ الحَطَبِ قِلْيًا كانَ يُحضَّرُ في الماضي بِمَزجِ رَمادِ الحَطَبِ بِالماءِ فَيَذوبُ القِليُ وَيُفصَلُ عَنِ الرَّمادِ ثُمَّ يُغلى الماءُ في قِدرٍ حَديدِيَّةٍ فَيَتَبَخَّرُ تارِكًا وَراءَهُ القِليَ. وَيُسَمّى القِليُ المُستَخرَجُ بِهٰذِهِ الطَّريقَةِ البوتاس. وَيُحضَّرُ البوتاسُ حالِيًّا بِطَريقَةٍ مُختَلِفَةٍ، وَتُستَخدَمُ كَمِّيّاتٌ كَبيرَةٌ مِنهُ في صِناعَةِ الصّابونِ، وَتُحضَّرُ قِلوِيّاتٌ

إلى اليَسارِ

توجَدُ الحَوامِضُ في الخَلِّ وَعَصيرِ اللَّيمونِ وَأَوراقِ الرّاوَندِ. فَالخَلُّ يَحوي حامِضَ الخَلّيك وَعَصيرُ اللَّيمونِ يَحتوي على حامِضِ السِّتريك وَوَرَقُ الرّاوَندِ يَحوي حامِضًا سامًّا يُعرَفُ بِحامِضِ الأُوكساليك.

أَقصى اليَسارِ

تَستَخدِمُ بَعضُ الحَيَواناتِ وَالنَّباتاتِ حَوامِضَ وَقِلوِيّاتٍ لِلدِّفاعِ عَنِ النَّفسِ. فَأَوراقُ القُرّاصِ مُغَطّاةٌ بِشُعَيراتٍ نَحيفَةٍ تَنخُسُ الجِلدَ. وفي أَسفَلِ كُلِّ شُعَيرَةٍ بُصَيلَةٌ مَليئَةٌ بِحامِضِ النَّمليك. فَيَدخُلُ هذا الحامِضُ إلى الجِسمِ وَيُسَبِّبُ اللَّسعَ. وَلَسعُ النَّملِ مُسَبَّبٌ أَيضًا عَن حامِضِ النَّمليك. وَلَسعُ النَّحلِ حامِضٌ أَيضًا وَتُخَفَّفُ حِدَّتُهُ بِوَضعِ ثاني كَربوناتِ الصّوديوم. أَمّا لَسعُ الزَّنابيرِ فَقِلوِيٌّ وَيُعالَجُ بِعَصيرِ اللَّيمونِ أَو الخَلِّ.

إلى اليَسارِ

أَشهَرُ الكَواشِفِ الكِماوِيَّةِ هُوَ عَبّادُ الشَّمسِ وَيُحضَّرُ مِنَ الأُشنَةِ أَو الحَزازِ. وَعَبّادُ الشَّمسِ يَتَحَوَّلُ إلى أَحمَرَ في الحَوامِضِ وَإلى أَزرَقَ في القِلوِيّاتِ.

إلى اليَسارِ

جَميعُ الحَوامِضِ تَحوي الهَيدروجين، أي إِنَّ جُزَيئاتِ الحَوامِضِ فيها ذَرّاتُ هَيدروجين. حامِضُ الهَيدروكلوريك هُوَ حامِضٌ قَوِيٌّ يَتَأَلَّفُ مِن هَيدروجين وَ كلورين وَيُعرَفُ أَيضًا بِاسمِ كلوريد الهَيدروجين. الصّودا الكاوِيَةُ هِيَ هَيدروكسيد الصّوديوم. فَعِندَ مَزجِ كلوريدِ الهَيدروجين مَعَ هَيدروكسيدِ الصّوديوم يَنتُجُ كلوريد الصّوديوم وَماءٌ. وَكِلا المُرَكَّبَينِ النّاتِجَينِ مُتَعادِلانِ. وَكلوريد الصّوديوم هُوَ مِلحُ الطَّعامِ العادِيُّ وفي الرَّسمِ ص Na هو رَمزُ الصّوديوم لِأَنَّ الصّوديوم كانَ سابِقًا يُدعى النَّتريوم.

إلى الأَسفَلِ

هُناكَ أَنواعٌ مُختَلِفَةٌ كَثيرَةٌ مِنَ الأَملاحِ وَبَعضُها مُلَوَّنٌ. وهٰذِهِ بَعضُ الأَملاحِ المُلَوَّنَةِ: شَبُّ الكروم وَهُوَ يُستَعمَلُ في الصِّباغَةِ وَالدِّباغَةِ، وَسُلفاتُ النُّحاسِ تَقضي عَلى الفُطرِ وَالعَفَنِ، وَثاني كَروماتِ البوتاسيوم هِيَ المادَّةُ البُرتُقالِيَّةُ اللَّونِ الَّتي تُستَخدَمُ في اختِبارِ تَحليلِ التَّنَفُّسِ لِسائِقي السَّيّاراتِ، وَسُلفاتُ الحَديدِ تُستَعمَلُ في صِناعَةِ الحِبرِ.

أخرى مِنَ الكِلْسِ وَحُماتِ الزَّنابيرِ. وَاللُّعابُ أيضًا من القِلْويّاتِ الضَّعيفَةِ.

أمّا المُرَكَّباتُ الَّتي هِيَ لَيْسَتْ مِنَ الحَوامِضِ وَلا مِنَ القِلْويّاتِ فإنّها تُعْرَفُ بالمُتَعادِلَةِ، وَيَتَوَقَّفُ لَوْنُ الكَثيرِ مِنَ الأزْهارِ وَالثِّمارِ عَلى كَوْنِ التُّرْبَةِ حامِضِيَّةً أو قِلْوِيَّةً. وَمِنَ الطَّريفِ أنَّ نَبْتَةً مِن الكوبيّات (الهيدرانجيّة) ذاتِ الأزْهارِ الكوبيَّةِ الزَّرْقاءِ تَحْمِلُ أزْهارًا قَرَنْفُلِيَّةً حَمْراءَ إذا زُرِعَتْ في تُرْبَةٍ قِلْوِيَّةٍ.

والمَوادُّ الَّتي يَتَغَيَّرُ لَوْنُها عِنْدَ إضافَةِ الحامِضِ أوِ القِلْيِ تُعْرَفُ بالكَواشِفِ وَهِيَ تُسْتَخْدَمُ لِلْكَشْفِ عَمّا إذا كانَ السّائلُ حَمْضِيًّا أو قِلْوِيًّا.

وَبِإمْكانِكَ أنْ تُحَضِّرَ كَواشِفَ كيماوِيَّةً بِنَفْسِكَ. فكُلُّ ثَمَرَةٍ أو خُضْرَةٍ شَديدَةِ التَّلَوُّنِ جَديرَةٌ بالاسْتِقْصاءِ. جَرِّبْ إغلاءَ بَعْضِ المَلفوفِ الأحْمَرِ في الماءِ وَصَفِّ السّائلَ المُلَوَّنَ النّاتِجَ عِنْدَما يَبْرُدُ. أضِفْ نُقْطَةً مِنَ الخَلِّ إلى هٰذا المَحْلولِ فَيَحْمَرُّ، لكنْ إذا أتْبَعْتَهُ بِقَليلٍ مِنَ الصّابونِ (وَهُوَ قِلْوِيٌّ ضَعيفٌ) فَإنَّ المَحْلولَ يَتَحَوَّلُ إلى الزُّرْقَةِ.

وَبالإمكانِ صُنْعُ مَحْلولاتٍ كاشِفَةٍ مِنْ جُذورِ الشَّمَنْدَرِ الطّازَجَةِ وَمِنْ تُوَيْجِيّاتِ (بَتلاتِ) الوَرْدِ الكَثيرَةِ الاحْمِرارِ وَمِنْ عُصارَةِ الكشمش (عِنَبِ الثَّعْلَبِ) الأسْوَدِ. وَبَعْدَ صُنْعِ الكاشِفِ اخْتَبِرْ بِهِ سَوائلَ مُخْتَلِفَةً.

عِنْدَ مَزْجِ الحامِضِ وَالقِلْيِ يَحْصُلُ تَفاعُلٌ كيماوِيٌّ وَيَتَوَلَّدُ مُرَكَّبانِ: أحَدُهُما الماءُ دائمًا وَالآخَرُ هُوَ مُرَكَّبٌ مِلْحِيٌّ. وَالمِلْحُ الَّذي نَتَناوَلُهُ مَعَ الطَّعامِ هُوَ كلوريد الصوديوم أي مِلْحُ الطَّعامِ. وَهُناكَ أنْواعٌ أُخْرى مِنَ الأمْلاحِ كَصودا الغَسيلِ (كَرْبونات الصودا) وَالمِلْحِ الإنكليزيِّ (سُلْفاتِ أو كَبْريتاتِ المَغْنيسيوم) وَحَجَرِ الكِلْسِ (كَرْبوناتِ الكالْسيوم).

إلى اليَسارِ

مِطْفَأةُ الحَريقِ الكيماوِيَّةُ تَحْتَوي عَلى مَحْلولٍ قِلْوِيٍّ مِن بِيكَرْبوناتِ الصّودا وحامِضِ الكبريتيك. فَعِنْدَما تُشَغَّلُ المِطْفَأةُ يَتَّحِدُ المَحْلولانِ وَيُنْتِجانِ غازَ ثاني أوكسيد الكَرْبونِ. وَيَعْمَلُ ضَغْطُ الغازِ المُتَزايِدُ عَلى دَفْعِ نافورَةٍ قَوِيَّةٍ مِنَ الماءِ أوِ الرَّغْوَةِ لإطْفاءِ الحريقِ.

إلى اليَمينِ

نَموذَجٌ لِمِطْفَأةِ الحَريقِ. يُصْنَعُ هٰذا النَّموذَجُ بإدْخالِ أنْبوبِ قَطّارَةٍ زُجاجِيٍّ في فَلِّينَةٍ وَرَبْطِ كيسٍ صَغيرٍ مِنْ بيكَرْبوناتِ الصّوديوم إلى الطَّرَفِ السُّفْلِيِّ مِنْهُ. أدْخِلِ الفَلِّينَةَ في قِنّينَةٍ تَحوي مَزيجًا مِنَ الخَلِّ وَالماءِ وَشُدَّها جَيِّدًا مُراعِيًا أنْ يَبْقى الكيسُ فَوقَ مُسْتَوى السّائلِ في القِنّينَةِ. وَلِكَيْ تَبْدَأَ العَمَلِيَّةَ أمْسِكِ الفَلِّينَةَ بأصابِعِكَ وَاقْلِبْها رَأْسًا عَلى عَقِبٍ. يَرْشَحُ مَحْلولُ الخَلِّ الحامِضِيُّ عَبْرَ الوَرَقَةِ وَيَتَفاعَلُ مَعَ البيكَرْبوناتِ القِلْوِيَّةِ، فَيَتَوَلَّدُ غازُ ثاني أُكْسيدِ الكَرْبونِ. وَيعمَلُ الضَّغْطُ المُتَزايِدُ في القِنّينَةِ عَلى دَفْقِ السّائلِ خارِجَ الأنبوبِ. جَرِّبْ هٰذِهِ العَمَلِيَّةَ لإطْفاءِ وَرَقَةٍ مُشْتَعِلَةٍ خارِجَ المَنْزِلِ وَاضْغَطْ على الفَلِّينَةِ لكي لا تُفْلِتَ.

إلى الأسْفَلِ

اخْتِباراتُ الكَشْفِ عَنِ القِلْوِيّاتِ: الطَّعْمُ مالِحٌ مُفْثٍ، تُحَوِّلُ عَبّادَ الشَّمْسِ إلى الزُّرْقَةِ، تَتَفاعَلُ مَعَ الدُّهْنِ وَالزُّيوتِ، تُعادِلُ المَحاليلَ الحامِضِيَّةَ (المُحْمَرَّةَ بِعَبّادِ الشَّمْسِ) وَتُغَيِّرُ لَوْنَها.

إلى الأسْفَلِ

اخْتِباراتُ الكَشْفِ عَنِ الحَوامِضِ: الطَّعْمُ حامِضٌ لاذِعٌ، تُحَوِّلُ عَبّادَ الشَّمْسِ إلى الحُمْرَةِ، تَتَفاعَلُ مَعَ المَعادِنِ الفِلِزِّيَّةِ، تُعادِلُ المَحاليلَ القِلْوِيَّةَ (المُزْرَقَّةَ بِعَبّادِ الشَّمْسِ) وَتُغَيِّرُ لَوْنَها.

نُحاسٌ

نُحاسٌ أَصْفَرُ

فِضَّةٌ

ذَهَبٌ

مِلْعَقَةٌ مَعْدِنِيَّةٌ (فِلِزِّيَّةٌ)

مِلْعَقَةٌ خَشَبِيَّةٌ

ماءٌ حارٌّ

فَوْقُ

اَلْمَعادِنُ وَٱلسَّبائِكُ لَها بَريقٌ مُمَيِّزٌ.

فَوْقُ إلى ٱلْيَسارِ

ضَعْ مِلْعَقَةً خَشَبِيَّةً وَمِلْعَقَةً مَعْدِنِيَّةً (فِلِزِّيَّةً) كَبيرَةً مَعًا في وِعاءٍ فيهِ ماءٌ حارٌّ، ثُمَّ ٱلْمَسْ مِقْبَضَيْها. الْمِلْعَقَةُ ٱلْمَعْدِنِيَّةُ تَسْخُنُ أمّا ٱلْخَشَبِيَّةُ فَلا، لِأَنَّ ٱلْمَعْدِنَ ٱلْفِلِزِّيَّ يَنْقُلُ ٱلْحَرارَةَ بَيْنَما ٱلْخَشَبُ عازِلٌ.

إلى ٱلْيَسارِ

قِطْعَةُ ٱلْفِلِزِّ ٱلْمُعَلَّقَةُ بِحُرِّيَّةٍ تُعْطي رَنينًا موسيقِيًّا عِنْدَما تُطْرَقُ. وَتُصْنَعُ ٱلأَجْراسُ بِحَيْثُ تُعْطي أَفْضَلَ رَنينٍ.

إلى ٱلْيَسارِ

أَشْعِلْ مِصباحَ ٱلْيَدِ ٱلْكَهْرَبائِيَّ. ثُمَّ فُكَّ ٱلْقاعِدَةَ وَلاحِظْ إذا كانَ ٱلضَّوْءُ قَدِ ٱنْطَفَأَ. ضَعْ قِطْعَةً كَبيرَةً مِنَ ٱلْوَرَقِ العادِيِّ أوِ ٱللَّدائِنِيِّ بينَ ٱلْقاعِدَةِ وَٱلْبَطّارِيّاتِ في ٱلدّاخِلِ، ثُمَّ شُدَّ ٱلْقاعِدَةَ ثانِيَةً. الْمِصْباحُ لا يُضيءُ لأَنَّ ٱلْوَرَقَةَ لا توصِلُ ٱلْكَهْرَباءَ. لكِنْ إذا وَضَعْتَ رقيقَةَ أَلومِنيوم مِنَ ٱلنَّوْعِ ٱلْمُسْتَخْدَمِ لِلَّفِّ في ٱلْمَطْبَخِ فَإِنَّ ٱلْمِصْباحَ يُضيءُ ثانِيَةً لأَنَّ ٱلْفِلِزَّ موصِلٌ لِلْكَهْرَباءِ.

وَرَقٌ

رَقيقَةُ أَلومنيوم

اَلْفِلِزّاتُ (اَلْمَعادِنُ ٱلْفِلِزِّيَّةُ)

١

هُناكَ نَوعانِ مِنَ ٱلْعَناصِرِ، الْفِلِزّاتُ وَٱللّافِلِزّاتُ وَيَتَمَيَّزُ كُلُّ نَوعٍ بِخَواصِّهِ ٱلطَّبيعِيَّةِ. وَخَليطُ ٱلْفِلِزّاتِ يُعْرَفُ بِٱلسَّبيكَةِ وَلِلسَّبيكَةِ عادَةً بَعضٌ مِن خَواصِّ كُلٍّ مِنْ عَناصِرِها. فَٱلنُّحاسُ ٱلأَصْفَرُ هُوَ سَبيكَةٌ مِنَ ٱلنُّحاسِ وَٱلزِّنْكِ.

وَلَعَلَّ أَفضَلَ ما تَتَمَيَّزُ بِهِ ٱلْفِلِزّاتُ لَمَعانُها ٱلْخاصُّ، فَسَطْحُ ٱلْفِلِزِّ ٱلصَّقيلُ لَهُ بَريقٌ مُعَيَّنٌ، وَهٰذا يَنْطَبِقُ عَلى ٱلذَّهَبِ وَٱلأَلومنيوم وَحَتّى عَلى ٱلزِّئْبَقِ وَهُوَ ٱلْفِلِزُّ ٱلْوَحيدُ ٱلسائِلُ. وَمَعَ أَنَّهُ بِٱلإمكانِ صَقْلُ ٱللافِلِزّاتِ كَٱلْكِبريتِ

كُبولٌ (حِبالٌ) فولاذِيَّةٌ

مِصْدَمٌ مَطْلِيٌّ بِالكُروم

فَتيلَةُ تَنْغِسْتين

قاعِدَةٌ حَديدِيَّةٌ

وَالكَربونِ ، خاصَّةً الشَّكلِ الماسيِّ مِنْهُ ، فَإِنَّ لَمَعانَها هُوَ مِن نَوعٍ مُخْتَلِفٍ. وَهُناكَ خاصَّةٌ مُمَيِّزَةٌ أُخرى بَسيطَةٌ لِلفِلِزّاتِ ، وهِيَ أَنَّ القِطْعَةَ المُعَلَّقَةَ مِنْها تُعْطي رَنينًا خاصًّا إذا طُرِقَتْ بِحِدَّةٍ ، فَالفِلِزّاتُ إذًا رَنّانَةٌ.

وبالاخْتِبارات البَسيطَةِ يَتَبَيَّنُ أَنَّهُ بَيْنَما تَنْتَقِلُ الحَرارَةُ وَالكَهْرَباءُ بِسهولَةٍ في الفِلِزّاتِ ، فَإِنَّ ذٰلِكَ لا يَتِمُّ في اللافِلِزّاتِ. لِذٰلِكَ نَقولُ إِنَّ الفِلِزّاتِ مُوصِلَةٌ جَيِّدَةٌ لِلحَرارَةِ وَالكَهْرَباءِ ، بَيْنَما اللافِلِزّاتُ في مُعْظَمِها عازِلَةٌ.

وَالخاصَّةُ العَمَلِيَّةُ الأَهَمُّ لِلفِلِزّاتِ هِيَ مَتانَتُها ، فَالكَثيرُ مِنْها يُمْكِنُ تَشْكيلُهُ كَما نُريدُ بِالتَّطْريقِ أو المَطْلِ أَسْلاكًا ، أما اللافِلِزّاتُ فَإِنَّها قَصِفَةٌ لا تَقْبَلُ المَطْلَ وَلا التَّطْريقَ.

وَتَعْتَمِدُ طَريقَةُ اسْتِعْمالِ المَعادِنِ عَلى خَواصِّها الطَّبيعِيَّةِ. فَالبَرّاقُ مِنْها كَالذَّهَبِ وَالكُروم يُسْتَعْمَلُ لِلحُلى أو لِصَفائِحِ الوِقايَةِ. وَتُصْنَعُ الأَجْراسُ غالِبًا مِنَ البْرونز ، وَهُوَ سَبيكَةُ نُحاسٍ وَقَصْديرٍ عالِيَةُ الرَّنينِيَّةِ. وَأَفْضَلُ مُوصِلَيْنِ هُما الألومنيوم وَالنُّحاسُ ، لِذٰلِكَ تُصْنَعُ المَقالي وَالطَّناجِرُ مِنْها لِتَحْمى بِسُرْعَةٍ. وَتُسْتَخْدَمُ الفِلِزّاتُ في مُعْظَمِ الأَجْهِزَةِ الكَهْرَبائِيَّةِ لِنَقْلِ الكَهْرَباءِ ، فَأَسْلاكُ النُّحاسِ تَنْقُلُ التَّيّاراتِ الكَهْرَبائِيَّةَ عَبْرَ مَسافاتٍ بَعيدَةٍ ، بَيْنَما مَعْدِنُ التَّنْغِسْتين هُوَ الأَفْضَلُ لِفَتائِلِ المَصابيحِ الكَهْرَبائِيَّةِ نَظَرًا لِمُقاوَمَتِهِ العالِيَةِ.

وَأَرْخَصُ الفِلِزّاتِ مِنْ حَيْثُ الإِنْتاجُ هُوَ الحَديدُ ، وَهُوَ يُسْتَعْمَلُ لِتَقْوِيَةِ هَياكِلِ الإِنْشاءاتِ أو لِتَعْزيزِ الخَرَسانَةِ في المَباني الضَّخْمَةِ. وَالفولاذُ هُوَ مَزيجٌ مِنَ الحَديدِ وَالكَربونِ وَهُوَ قابِلٌ لِلتَّشْكيلِ لكِنَّهُ مَتينٌ وَمَرِنٌ. وَيُسْتَخْدَمُ الفولاذُ في صِناعَةِ السُّيوفِ وَهَياكِلِ السَّيّاراتِ وَالآلاتِ وَأُلوفٍ مِنَ الأَشْياءِ الأُخْرى. أَمّا في صِناعَةِ الطّائِراتِ حَيْثُ تُطْلَبُ الخِفَّةُ وَالمَتانَةُ فَتُسْتَخْدَمُ سَبائِكُ مِنَ الألومنيوم وَالمَغْنِسيوم.

وَمُعْظَمُ العَناصِرِ أو المُرَكَّباتِ اللافِلِزِّيَّةِ لَيْسَ لَها هٰذِهِ الخَواصُّ ، وَهٰذا يَجْعَلُها في كَثيرٍ مِنَ الأَحْيانِ مُفيدَةً بِسَبَبِ ذٰلِكَ. فَمُسْكَاتُ المَقالي تُصْنَعُ غالِبًا مِنَ الخَشَبِ أو اللَّدائِنِ لأَنَّها عازِلَةٌ ، كَذٰلِكَ يُسْتَخْدَمُ الخَزَفُ أو الزُّجاجُ في وِقايَةِ أَسْلاكِ الشَّبَكَةِ الكَهْرَبائِيَّةِ.

وَالكَثيرُ مِنَ الفِلِزّاتِ باهِظُ الثَّمَنِ ، لكِنَّ مَتانَتَها مَعَ سُهولَةِ تَشْكيلِها تَجْعَلُنا لا نَسْتَغْني عَنْها. لِذٰلِكَ يَسْتَمِرُّ السَّعْيُ في سَبيلِ الحُصولِ عَلى سَبائِكَ جَديدَةٍ ذاتِ خَواصَّ طَبيعِيَّةٍ فُضْلى لِخِدْمَتِنا ، وَعُلَماءُ الفِلِزّاتِ هُمُ الَّذينَ يَقومونَ بِهٰذِهِ الأَبْحاثِ وَالدِّراساتِ.

فَوقُ

يُمْكِنُ بِناءُ الجُسورِ الكَبيرَةِ بِاسْتِعْمالِ الفولاذِ وَالحَديدِ وَهٰذا جِسْرٌ مُعَلَّقٌ. يُصانُ الفولاذُ في السَّيّاراتِ عادَةً بِمَعْدِنٍ شَديدِ اللَّمَعانِ لا يَصْدَأُ هُوَ الكُروم ، وَذٰلِكَ في المَناطِقِ الَّتي يُحْتَمَلُ أَنْ يَزولَ عَنْها الدِّهانُ بِسُرْعَةٍ. وَالسِّلْكُ الرَّفيعُ في فَتيلَةِ المِصْباحِ الكَهْرَبائِيِّ يَنْقُلُ التَّيّارَ وَيَتَوَهَّجُ إلى دَرَجَةِ البَياضِ بِسَبَبِ الحَرارَةِ ، وَهُوَ يُصْنَعُ مِن فِلِزِّ التَّنْغِسْتين. لِلمِكْواةِ الكَهْرَبائِيَّةِ قاعِدَةٌ فِلِزِّيَّةٌ لِتَسْخُنَ بِسُرْعَةٍ ، لكِنَّ القِسْمَ الأَعلى وَالمِقْبَضَ يَجِبُ أَن يُصْنَعا مِن عازِلٍ كَاللَّدائِنِ لِيَبْقَيا بارِدَيْنِ.

فَوقُ إلى اليَمينِ

فُرْنٌ في مَعْمَلٍ عَصْرِيٍّ لِصُنْعِ الفولاذِ وَهُوَ مِن أَهَمِّ المَوادِّ في عَصْرِنا. إِنَّهُ مَزيجٌ مِنَ الحَديدِ وَالكَربونِ وَكَمِّيّاتٍ صَغيرَةٍ مِن مَوادَّ أُخْرى. يَتَوَقَّفُ نَوعُ الفولاذِ النّاتِجِ عَلى النِّسَبِ الَّتي تُمْزَجُ بِها هٰذِهِ المَوادُّ. وَبِالإِمْكانِ مُعالَجَةُ الفولاذِ لِيُصْبِحَ صَلْدًا لِلغايَةِ. وَبِالإِمْكانِ تَشْكيلُ الفولاذِ بِالطَّرْقِ وَهُوَ مَحْمِيٌّ لِيَتَّخِذَ شَكْلًا مُحَدَّدًا. وَبِالإِمْكانِ صَبُّ الفولاذِ الذّائِبِ في قَوالِبَ أو دَلْفَنَتُهُ قُضْبانًا أو سَحْبُهُ أَسْلاكًا.

الكَرْبونُ

إذا عَرَّضْتَ غِطاءً مِنَ الصَّفيحِ الصَّقيلِ إلى لَهْبَةِ شَمْعَةٍ يَتَغَطّى بِمَسْحوقٍ أَسْوَدَ هُوَ السِّناجُ. وَالسِّناجُ يَتَأَلَّفُ مِن عُنْصُرٍ مُهِمٍّ جِدًّا هُوَ الكَربون.

وَالسِّناجُ هُوَ أَحدُ الأَشكالِ الَّتي يوجَدُ بِها الكَرْبونُ. فَالرَّصاصُ في أَقْلامِ الرَّصاصِ العادِيَّةِ هُوَ في الحَقيقَةِ نَوعٌ مِنَ الكَربونِ اسْمُهُ الغرافيت، كَما إنَّ احْتِراقَ الخَشَبِ احْتِراقًا غَيْرَ كامِلٍ يُعْطينا نَوعًا آخَرَ مِنَ الكَربونِ هُوَ الفَحْمُ.

والفَحْمُ الحَجَرِيُّ وَالماسُ هُما أَيضًا مِنْ أَشكالِ الكَربونِ، وَهُما يَخْتَلِفانِ في المَظْهَرِ وَالمَلْمَسِ لأَنَّ ذَرّاتِ الكَربونِ فيهما مُتَرابِطَةٌ بِطُرُقٍ مُخْتَلِفَةٍ.

وَتَسْتَطيعُ ذَرّاتُ الكَرْبونِ التَّرابُطَ بِذَرّاتِ عَناصِرَ أُخرى لِتُكَوِّنَ أُلوفَ المُرَكَّباتِ المُخْتَلِفَةِ. وَأَغْلَبُ هذهِ المُرَكَّبات مَصْدَرُهُ الأَشْياءُ الحَيَّةُ، كَالخَشَبِ وَالسُّكَّرِ وَالقُطْنِ مِنَ النَّباتِ، وَالشَّمْعِ وَاللَّبَنِ وَالدُّهْنِ مِنَ الحَيوانِ. وَلَمّا كانَتِ الغالِبِيَّةُ العُظْمى مِن مُرَكَّباتِ الكَربونِ وَثيقَةَ العَلاقَةِ بِالكائناتِ الحَيَّةِ، أَصْبَحَتْ تُدْعَى المُرَكَّباتِ العُضْوِيَّة.

أَمّا المَوادُّ الَّتي لا تَحوي الكَرْبونَ وَالَّتي لَمْ تَكُنْ قَبْلًا جُزْءًا مِن كائِنٍ حَيٍّ كَالأُكْسِجينِ وَالزُّجاجِ وَالقِرْميدِ

إلى اليَسارِ

السِّناجُ وَالفَحْمُ نَوعانِ مُخْتَلِفانِ مِنَ الكَربونِ.

إلى أَقْصى اليَسارِ

الخَشَبُ وَالقُطْنُ وَالسُّكَّرُ هِيَ مُرَكَّباتٌ عُضْوِيَّةٌ، وَهِيَ تَحْتَوي على الكَربونِ، أما الحَديدُ وَالقِرميدُ وَالمِلْحُ فَهِيَ مَوادُّ غَيْرُ عُضْوِيَّةٍ وَلا تَحْوي الكَربون. اُكْتُبْ قائمَةً بِالمَوادِّ الَّتي تَخْطُرُ بِبالِكَ وَالَّتي تَحْتَوي على الكَربون، وَأُخرى بِالمَوادِّ الَّتي لا تَحْتَوي الكَربون.

إلى اليَسارِ

بِإمكانِكَ أنْ تَصْنَعَ نَوعًا مِنَ الفَحْمِ مِنَ السُّكَّرِ. سَخِّنْ مِلْعَقَةً صَغيرَةً مِنَ السُّكَّرِ العادِيِّ الأَبْيَضِ في صَحْنٍ صامِدٍ لِلحَرارَةِ. يَذوبُ السُّكَّرُ أَوَّلاً ثُمَّ يَتَحَوَّلُ إلى كُتْلَةٍ دَبِقَةٍ مُسْمَرَّةٍ وَبِمُواصَلَةِ التَّسْخينِ يَنْبَعِثُ مِنْها دُخانٌ كَثيفٌ يُمكِنُ إشْعالُهُ، وَيَتَحَوَّلُ السُّكَّرُ المُسْمَرُّ إلى نَوعٍ مِنَ الفَحْمِ النَّقِيِّ.

إلى اليَسارِ

إن الغرافيتَ وَالماسَ هُما نَوعانِ مِنَ الكَربونِ يَخْتَلِفانِ لاخْتِلافِ تَرْتيبِ ذَرّاتِ الكَربونِ فيها. فَالغَرافيتُ يَحْتوي عَلى الذَّرّاتِ في طَبَقاتٍ وَهٰذا يَجْعَلُهُ زَلِقًا وَلا يَسْمَحُ بِمُرورِ الضَّوءِ عَبْرَهُ. أمّا الماسُ فَيَخْتَلِفُ تَمامًا عَنْهُ إذ إنَّ لَهُ تَرْتيبًا مُخْتَلِفًا لِلذَّرّاتِ يَجْعَلُهُ قاسِيًا وَشَفّافًا.

إلى اليَسارِ

جُزَيءُ ميثان وَهُوَ يُوجَدُ في غازِ آبارِ النِّفْطِ، وَجُزَيءُ بيوتان وَهُوَ يُسْتَخْدَمُ كَوَقودٍ لِلوَلّاعاتِ وَمَواقِدِ الغازِ الصَّغيرَةِ. الكُرَيات السُّودُ تُمَثِّلُ ذَرّاتِ الكَربونِ وَالصَّغيرَةُ البَيْضاءُ ذَرّاتِ الهَيْدروجين.

إلى اليَسارِ

هٰذا جُزَيءُ أوكْتان المَوْجود في البَنْزينِ. فَإذا دَقَّقْتَ النَّظَرَ في نَموذَجِ هذا الجُزَيءِ وَسابِقَيْهِ البيوتان والميثان تَجِدُ أَنَّ كُلَّ ذَرَّةِ هَيْدروجين تَتَرابَطُ مَعَ ذَرَّةٍ واحِدَةٍ فَقَط، أمّا ذَرَّةُ الكَربون فَتَتَرابَطُ مَعَ أَرْبَعٍ أُخرى. وَمِنَ السَّهْلِ عَمَلُ نَماذِجِ جُزَيئاتٍ مِثْلِ هٰذِهِ بِاسْتِعْمالِ الطّينِ اللَّدائِنِيِّ (البلاستيسين) وَعيدانِ الثِّقابِ.

فَتُدْعَى ٱلْمُرَكَّباتِ غَيْرَ ٱلْعُضْوِيَّةِ.

وَتَتَأَلَّفُ بَعْضُ ٱلْمُرَكَّباتِ ٱلْكَرْبونِيَّةِ، كَٱلْخَشَبِ وَٱلْقُطْنِ مِنْ جُزَيئاتٍ كَبيرَةٍ مُعَقَّدَةِ ٱلتَّرْكيبِ بَيْنَما تَتَأَلَّفُ أَبْسَطُ ٱلْمُرَكَّباتِ ٱلْعُضْوِيَّةِ مِنِ اتِّحادِ ٱلْكَرْبونِ وَٱلْهَيْدروجين بِنِسَبٍ مُتَفاوِتَةٍ، وَتُعْرَفُ هٰذِهِ ٱلْمُرَكَّباتُ بِٱلْهَيْدروكَرْبوناتِ.

فَإِذا ٱتَّحَدَتْ ذَرَّةُ كَربونٍ مَعَ أَربَعِ ذَرّاتِ هَيْدروجين يَنْتُجُ جُزَيْءٌ مِن غاز الميثان، وَهُوَ غازٌ يُسْتَخْدَمُ لِلطَّبْخِ وَٱلتَّدْفِئَةِ. وَمِنَ ٱلْهَيْدروكربونات أيضًا ٱلْبيوتان وَهُوَ ٱلسّائِلُ ٱلْمُسْتَعْمَلُ في ٱلْوَلّاعاتِ. وَيَحْتَوي جُزَيْءُ ٱلبيوتان عَلى أَربَعِ ذَرّاتِ كَربون و ١٠ ذَرّاتِ هَيْدروجين. ومن أَهَمِّ أَنْواعِ ٱلْوَقودِ وَأَشْهَرِها ٱلبنزين وَهُوَ هَيْدروكربون يَحْتَوي عَلى ٱلْأوكْتانِ ٱلَّذي يَتَأَلَّفُ من ٨ ذَرّاتِ كَرْبون و ١٨ ذَرَّةَ هَيْدروجين.

في جَميعِ هٰذِهِ ٱلْهَيْدروكربونات تَتَرابَطُ ٱلذَّرّاتُ بَعْضُها مَعَ بَعْضٍ في سَلاسِلَ طَويلَةٍ، وَفي بَعْضِ مُرَكَّباتِ ٱلْكَرْبونِ تَتَرابَطُ ٱلذَّرّاتُ عَلى هَيْئَةِ حَلَقاتٍ.

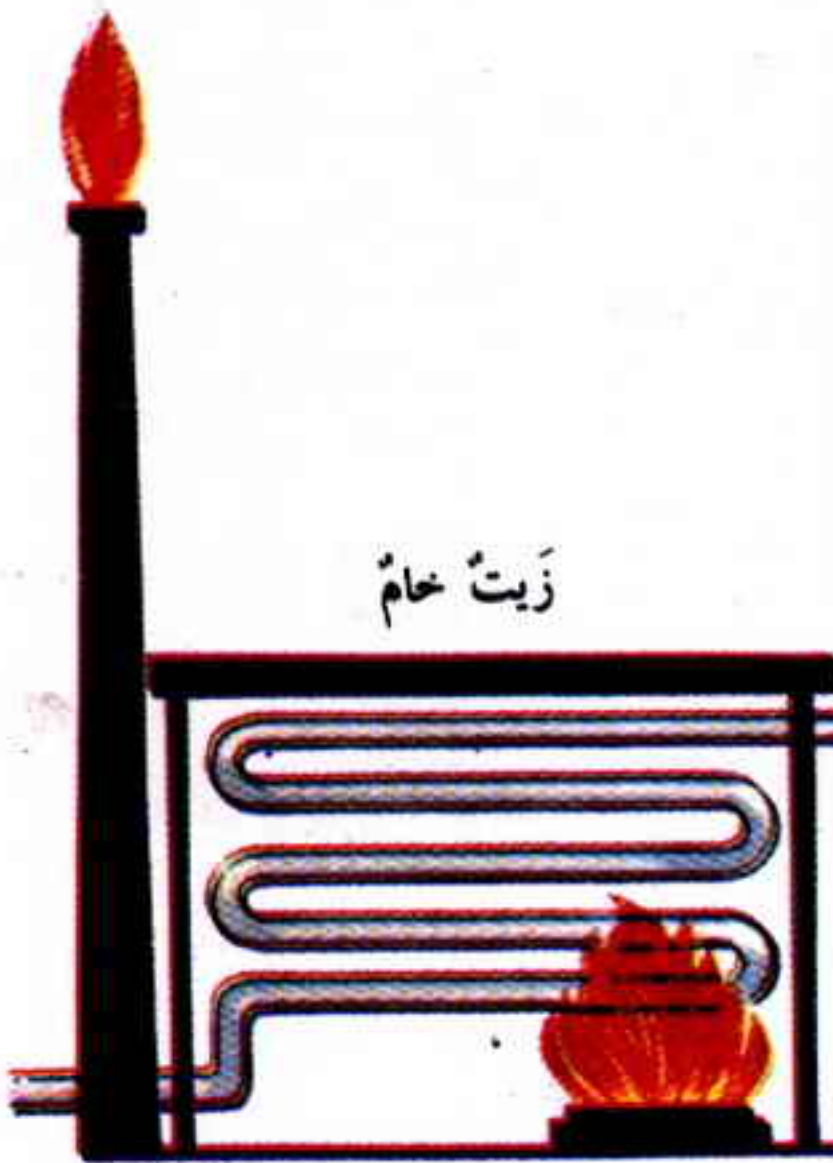
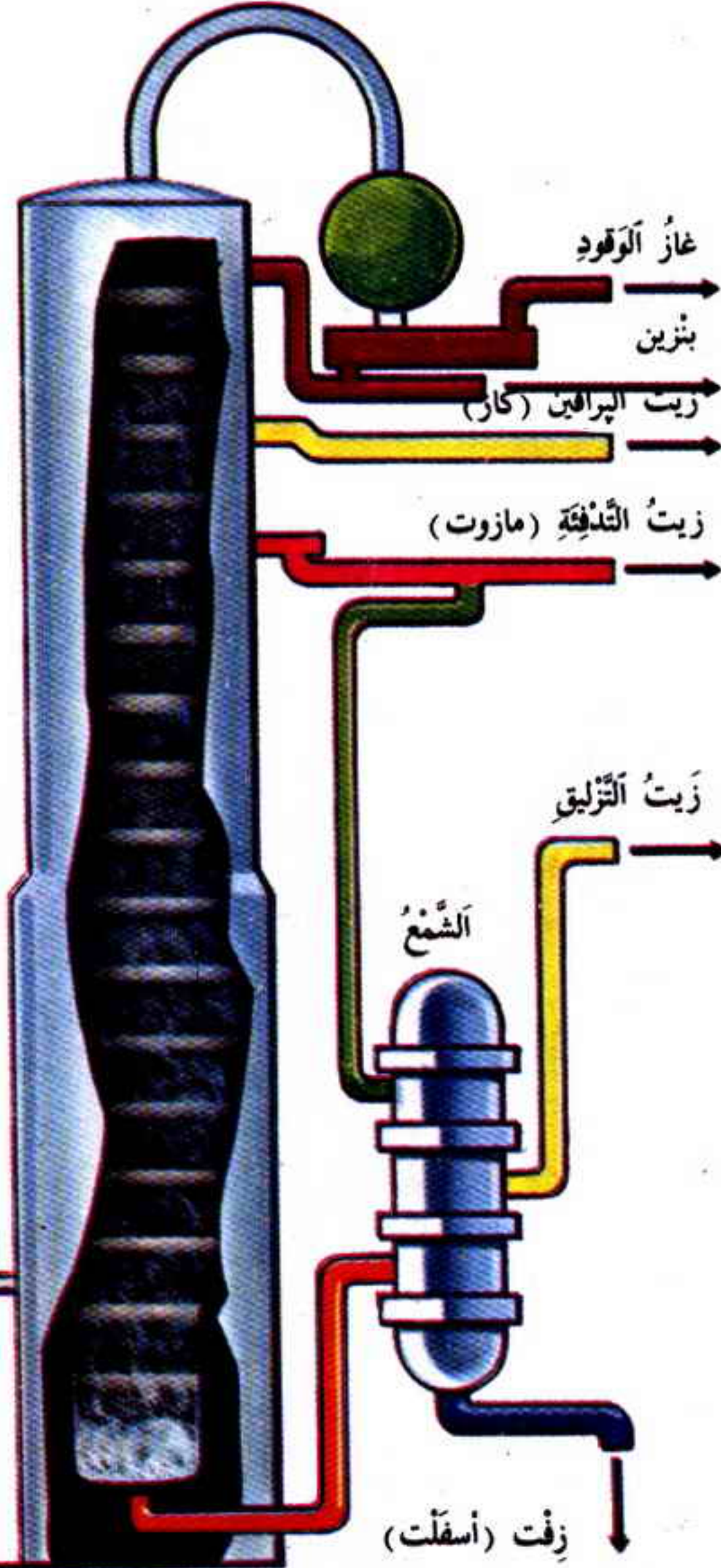
وَعِنْدَما تُعالَجُ مُرَكَّباتُ ٱلْكَربونِ بِٱلْحَرارَةِ وَٱلضَّغْطِ ٱلْمُناسِبَيْنِ في عَمَلِيّاتٍ كِياوِيَّةٍ خاصَّةٍ يَنْتُجُ عَدَدٌ كَبيرٌ مِنَ ٱلْمَوادِّ ٱلْمُهِمَّةِ كَٱللَّدائِنِ (البلاستيك) وَٱلْأَلْيافِ الاصْطِناعِيَّةِ.

إلى ٱليَمينِ

هذهِ ٱلأَشْياءُ كُلُّها مَصْنوعَةٌ مِنَ ٱللَّدائِنِ، وَٱللَّدائِنُ تُحَضَّرُ من مُرَكَّباتِ ٱلكَرْبونِ.

إلى ٱليَمينِ

عَمودُ ٱلتَّقْطيرِ ٱلتَّجْزيئِيِّ في ٱلمِصْفاةِ. يُحْمى ٱلزَّيتُ ٱلخامُ حَتّى يَتَبَخَّرَ. تَرْتَفِعُ أَبْخِرَةُ ٱلأَجْزاءِ ٱلخَفيفَةِ (كَغازِ ٱلوَقودِ وَٱلبِنْزين) إلى أعلى ٱلعَمودِ حَيْثُ تُنْقَلُ بأنابيبَ. أما ٱلأَجْزاءُ ٱلثَّقيلَةُ كَٱلبَرافين (الكاز) وَٱلمازوتِ وَزَيْتِ ٱلتَّزْليقِ، فَإِنَّها تَتَجَمَّعُ في مُسْتَوَياتٍ أَخْفَضَ مِنْ عَمودِ ٱلتَّقْطيرِ.

إلى ٱليَمينِ

نَموذَجٌ لِجُزَيْءِ ٱلبنزين ٱلحَلْقِيِّ وَهُوَ يَتَأَلَّفُ مِن سِتِّ ذَرّاتِ كَربونٍ وَسِتِّ ذَرّاتِ هَيْدروجين. وَكُلُّ ذَرَّةِ كَربونٍ مُرْتَبِطَةٌ بِذَرَّةِ هَيْدروجين بِرِباطٍ واحِدٍ. وَكُلُّ ذَرَّةِ كَربونٍ مُرْتَبِطَةٌ أيضًا بِذَرَّتَي كَربونٍ معَ إحداهُما بِرِباطٍ واحِدٍ وَمَعَ ٱلأُخرى بِرِباطَيْنِ. وَهٰكذا تُصْبِحُ ذَرّاتُ ٱلكَربونِ ٱلرُّباعِيَّةُ ٱلتَّكافُؤِ كامِلَةَ ٱلتَّرابُطِ. وَلِتَذَكُّرِ ذٰلِكَ بِطَريقَةٍ طَريفَةٍ تَصَوَّرْ أَنَّ كُلَّ ذَرَّةِ كَربونٍ هِيَ سَعْدان وذرّات الهيدروجين سِتُّ مَوزاتٍ. وَأَنَّ كُلَّ سَعْدانٍ يَسْتَخْدِمُ أَحَدَ أَطْرافِهِ لِيُمْسِكَ مَوْزَةً وَثَلاثَةَ أَطْرافٍ لِيَتَمَسَّكَ بِها مَعَ ٱلمَجْموعَةِ لِتَكْوينِ ٱلحَلْقَةِ.

اَلوُقُدُ (جمع وَقود)

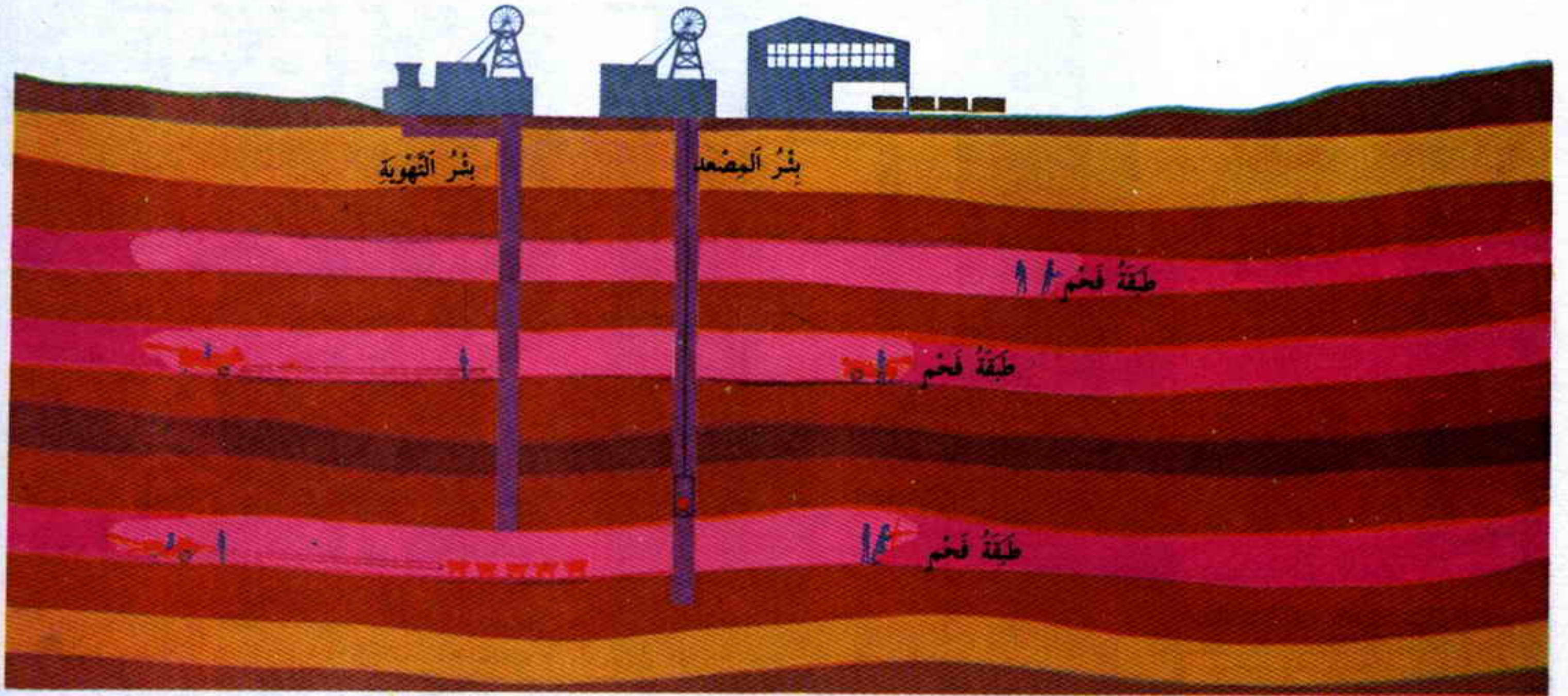
اَلوُقُدُ اَلرَّئيسيَّةُ هِيَ اَلفَحْمُ اَلحَجَرِيُّ وَاَلزَّيْتُ وَاَلغازُ اَلطَّبيعِيُّ، وَقَدْ تَكَوَّنَتْ جَميعُها عَلى اَلأرجَحِ مِن بَقايا اَلموادِّ اَلحَيَّةِ. وَقَدْ ظَلَّ اَلفَحْمُ اَلحَجَرِيُّ هُوَ اَلوَقودَ اَلرَّئيسِيَّ حَتَّى أواسِطِ اَلقَرنِ اَلعِشرينَ. لٰكِنَّنا اَليَومَ نُلاحِظُ تَزايُدَ اَسْتِخْدامِ اَلزَّيتِ وَاَلغازِ اَلطَّبيعِيِّ لأنَّهُما أنْظَفُ وَأسْهَلُ اَسْتِعمالًا.

يُقَدِّرُ عُلَماءُ اَلأرضِ (الجيولوجيُّونَ) أنَّ اَلفَحْمَ قَد تَكَوَّنَ مُنْذُ ٣٥٠ مِلْيونَ سَنَةٍ في اَلعَصْرِ اَلكَربونِيِّ، حَيْثُ تَعَرَّضَتْ بَقايا أحْراشِ اَلمُسْتَنْقَعاتِ لِضَغْطِ اَلرِّمالِ وَاَلطِّينِ وَموادَّ أُخْرى تَراكَمَتْ فَوقَها. فَتَحَوَّلَ اَلنَّبتُ اَلدَّفينُ عَلى مَرِّ اَلزَّمَنِ إلى فَحْمٍ وَتَحَوَّلَت اَلموادُّ اَلمُتَراكِمَةُ إلى صَخْرٍ وَتُرْبَةٍ. وَتَكَرَّرَ اَلنَّماءُ وَالانْطِمارُ كَما يَتَبَيَّنُ مِنْ تَعَدُّدِ اَلطَّبَقاتِ اَلصَّخْرِيَّةِ اَلَّتي تَفْصِلُ طَبَقاتِ اَلفَحْمِ في اَلمَناجِمِ. وَتَتَبايَنُ أنْواعُ اَلفَحْمِ مِنَ اَللِّجنيت اَلبُنِّيِّ اَللَّوْنِ وَهُوَ اَلأحْدَثُ عَهْدًا إلى اَلأنتراسيْت وَهُوَ اَلفَحْمُ اَلصُّلْبُ اَلأقْدَمُ عَهْدًا.

كَذٰلِكَ تَكَوَّن اَلزَّيتُ تَحْتَ ضَغْطٍ وَحَرارَةٍ عالِيَيْنِ في أنواعٍ مُعَيَّنَةٍ منَ اَلتَّكْوينات اَلصَّخْرِيَّةِ. وَهٰذِهِ يَغْلُبُ وُجودُها في اَلطَّيَّاتِ اَلمُقَعَّرَةِ اَلغائِرَةِ مِنَ قِشْرَةِ اَلأرضِ حَيْثُ توجَدُ اَلصُّخورُ اَلرُّسوبِيَّةُ. وَيَتَجَمَّعُ اَلزَّيتُ عادةً في صُخورٍ مَساميَّةٍ (تُعْرَفُ بِاَلمكمَنِ) تَقَعُ بَينَ صُخورٍ أُخْرى غَيرِ مَساميَّةٍ لا تَنْفُذُ مِنْها اَلسَّوائِلُ.

يُعالَجُ اَلزَّيتُ اَلخامُ (اَلنَّفْطُ) في مَعْمَلِ اَلتَّكْريرِ (أو

إلى اَلأسْفَل

مَنْجَمُ فَحْمٍ وَتَظْهَرُ بِئْرُ اَلتَّهْوِيَةِ إلى اَليَسارِ وَبِئْرُ اَلمِصْعَدِ إلى اَليَمينِ. وَتَبْدو ثَلاثُ طَبَقاتٍ لِتَعْدينِ اَلفَحْمِ عَلى طُولِ اَلمَنْجَمِ، اَلطَّبَقَةُ اَلسُّفْلى قَديمَةُ اَلعَهْدِ وَاَلعُلْيا حَديثَةُ اَلعَهْدِ نِسْبِيًّا.

إلى اَليَسارِ

مُعَدِّنون يَحْفِرون واجِهَةَ مَنْجَمٍ وَتُسْتَخْدَمُ في اَلمَناجِمِ اَلحَديثَةِ مَكَناتٌ مُتَطَوِّرَةٌ مُعَقَّدَةُ اَلتَّرْكيبِ.

ٱلمِصْفاةِ) حَيْثُ يَتَحَوَّلُ إلى أجْزاءٍ مُتَنَوِّعَةٍ لِكُلٍّ مِنْها فائِدَتُهُ وَٱسْتِعْمالاتُهُ. وَعَمَلِيَّةُ ٱلتَّكْرِيرِ هِيَ في ٱلأساسِ تَسْخينُ ٱلزَّيْتِ ٱلخامِ، ٱلَّذي تَتَبَخَّرُ أجْزاؤُهُ عَلى دَرَجاتِ حَرارَةٍ مُخْتَلِفَةٍ تَجْعَلُ بِٱلإمْكانِ فَصْلَها ٱلواحِدَ عَنِ ٱلآخَرِ في بُرْجٍ (أو عَمودٍ) ٱلتَّقْطيرِ ٱلتَّجْزيئِيِّ.

وَبنزينُ ٱلسَّيّاراتِ هُوَ أحَدُ مَنْتوجاتِ ٱلزَّيْتِ ٱلخامِ، وَهُناكَ ٱلكَثيرُ غَيْرُهُ بَدْءًا مِنَ ٱلقَطْرانِ وَزُيوتِ ٱلتَّشْحيمِ ٱلثَّقيلَةِ إلى وَقودِ ٱلطّائِراتِ وَٱلبَرافينِ وَغَيْرِها مِنَ ٱلأجْزاءِ ٱلخَفيفَةِ.

وَيوجَدُ ٱلغازُ ٱلطَّبيعِيُّ في باطِنِ ٱلأرْضِ فَوْقَ طَبَقَةٍ مِنَ ٱلصَّخْرِ حَيْثُ يَكْمُنُ ٱلزَّيْتُ.

وَٱلفَحْمُ وَٱلزَّيْتُ وَٱلغازُ ٱلطَّبيعِيُّ جَميعُها تُسْتَخْدَمُ لِتَوْليدِ ٱلحَرارَةِ في ٱلبَيْتِ وَفي ٱلصِّناعَةِ. وَفيما مَضى كانَتْ مَحَطّاتُ تَوْليدِ ٱلكَهْرَباءِ تَسْتَخْدِمُ ٱلفَحْمَ لِتَشْغيلِ ٱلتُّرْبيناتِ ٱلتِّجارِيَّةِ، وَٱلكَثيرُ مِنْها ٱليَوْمَ يَسْتَعْمِلُ ٱلزَّيْتَ. وَبِٱلإمْكانِ إنْتاجُ ٱلكَهْرباءِ ٱلآنَ بِنَوْعٍ آخَرَ مِنَ ٱلوَقودِ هُوَ عُنْصُرُ ٱليورانيوم ٱلمُشِعِّ، وَهُوَ ٱلمُسْتَعْمَلُ في مَحَطّاتِ تَوْليدِ ٱلطّاقَةِ بِٱلقُدْرَةِ ٱلنَّوَوِيَّةِ (أُنْظُرْ صفحة ١٩٨).

وَقَدْ نَشَأَتْ صِناعَةٌ جَديدَةٌ في ٱلسَّنَواتِ ٱلأخيرَةِ عَلى هامِشِ تَكْريرِ ٱلزَّيْتِ هِيَ صِناعَةُ ٱلبتروكيماوِيّاتِ. فقد كانَتِ ٱلصِّناعَةُ ٱلكيماوِيَّةُ فيما مَضى مُرافِقَةً دومًا لِصِناعَةِ ٱلفَحْمِ ٱلحَجَرِيِّ ٱلَّذي هُوَ مَصْدَرٌ مُهِمٌّ لِلْكيماوِيّاتِ، لكِنَّ مَعامِلَ ٱلبتروكيماوِيّاتِ ٱلحَديثَةَ أعْظَمُ وَأوْسَعُ. وَمِنْ مَنْتوجاتِها مَوادُّ مَشْهورَةٌ تُسْتَعْمَلُ يومِيًّا، مِثْلُ ٱللَّدائِنِ وَٱلألْيافِ الاصْطِناعِيَّةِ (كَٱلنّايلون وغيره) وَٱلدِّهاناتِ وَٱلأسْمِدَةِ وَٱلمُتَفَجِّراتِ وَغَيْرِها.

فوق إلى اليمين

تَكوينٌ صَخْرِيٌّ يَحْتَوي عَلى ٱلزَّيْتِ وَٱلغازِ. عِنْدَ حَفْرِ ٱلبِئْرِ قَدْ يَتَدَفَّقُ ٱلزَّيْتُ تِلْقائِيًّا بِٱلضَّغْطِ ٱلواقِعِ عَلَيْهِ أو يُسْتَخْرَجُ بِٱلضَّخِّ.

فوق

بُرْجُ (عَمودُ) تَقْطيرٍ في مِصْفاةٍ. الأجْزاءُ ٱلأخَفُّ مِنَ ٱلزَّيْتِ ٱلخامِ تَرْتَفِعُ إلى أعلى عَمودِ ٱلتَّقْطيرِ، وَٱلأثْقَلُ تَتَكَثَّفُ وَتُجْمَعُ مِنْ أسْفَلِ ٱلعَمودِ.

إلى اليمين

مِنَصَّةُ حَفْرٍ بَحْرِيٌّ. وَهُنا تُشَكِّلُ ٱلأحوالُ ٱلجَوِّيَّةُ خَطَرًا يُهَدِّدُ ٱلعامِلينَ في ٱلمِنَصَّةِ. وَتَتِمُّ الاتِّصالاتُ مَعَ ٱلمِنَصَّةِ وَتَموينُها بِواسِطَةِ ٱلطَّوّافاتِ (طائراتِ ٱلهليكوبتر).

عِلْمُ ٱلبيئَةِ

عِلْمُ ٱلبيئَةِ هُوَ دِراسَةُ ٱلأشياءِ ٱلحَيَّةِ في أوساطِها ٱلطَّبيعيَّةِ. فَٱلنَّباتاتُ وَٱلحَيَواناتُ تَعْتَمِدُ بَعْضُها على بَعْضٍ وَعَلى ٱلتُّرابِ وَٱلهَواءِ وَٱلماءِ ٱلّتي مِنْها ٱلغِذاءُ وَٱلحَياةُ. وَتَتَرَكَّبُ أجْسامُ ٱلنَّباتاتِ وَٱلحَيَواناتِ عَلى ٱخْتِلافِها بِشَكْلٍ رَئيسِيٍّ مِنَ ٱلكَرْبونِ وَٱلنِّيتروجين وَٱلهَيْدروجين وَٱلأُكسِجين. هٰذِهِ ٱلعَناصِرُ ٱلأَرْبَعَةُ تَتَّحِدُ كيماوِيًّا في ٱلكائِنِ ٱلحَيِّ لِتُؤَلِّفَ جُزَيْئاتٍ عُضْوِيَّةً مُعَقَّدَةَ ٱلتَّرْكيبِ تُدْعى ٱلبروتينات وَٱلدُّهونَ وَٱلنَّشَوِيّاتِ (الكربوهيدرات).

جَميعُ ٱلأشْياءِ ٱلحَيَّةِ تَنْمو بِٱسْتِمرارٍ، وَعِنْدَ تَمامِ ٱلنُّمُوِّ تَسْتَبْدِلُ بِخَلاياها ٱلمَيِّتَةِ خَلايا جَديدَةً. لِذٰلِكَ تَظَلُّ دومًا بِحاجَةٍ إلى مَزيدٍ مِنَ ٱلعَناصِرِ ٱلأَرْبَعَةِ ٱلأساسِيَّةِ. فَٱلأُكسِجين تَأْخُذُهُ مِنَ ٱلهَواءِ أو مِنَ ٱلذّائِبِ مِنْهُ في مِياهِ ٱلبِحارِ وَٱلأنْهارِ. وَٱلهَيْدروجين يَأتي مِنَ ٱلماءِ ٱلّذي يَتَأَلَّفُ مِن ذَرّاتِ ٱلهَيْدروجين وَٱلأُكسِجين. أمّا ٱلكَرْبون وَٱلنِّيتروجين فَمَصْدَرُهُما ٱلهَواءُ أوِ ٱلبِحارُ أوِ ٱلأنهارُ أوِ ٱلتُّرْبَةُ. وَطَريقَةُ ٱسْتِخْدامِ هٰذِهِ ٱلعَناصِرِ مِنْ قِبَلِ ٱلنَّباتاتِ وَٱلحَيَواناتِ تَنْطَوي عَلى دَوْرَتَيْنِ مُعَقَّدَتَيْنِ تُبَيِّنانِ ٱعْتِمادَ ٱلأشياءِ ٱلحَيَّةِ بَعْضِها عَلى بَعْضٍ وعَلى ما يُحيطُ بِها.

وَتَنْطَوي دَوْرَتا ٱلنِّيتروجين وَٱلكَرْبونِ عَلى دَوَرانِ ذَرّاتِ ٱلكَرْبونِ وَٱلنِّيتروجين مِنَ ٱلمُحيطِ ٱلّذي يَشْغَلانِهِ أيِ ٱلبيئَةِ إلى ٱلنَّباتاتِ أوِ ٱلحَيَواناتِ ثُمَّ رُجوعًا إلى ٱلبيئَةِ. وَهٰكذا يَظَلُّ تَرْكيبُ ٱلبيئَةِ ثابِتًا على حالِهِ. وَيَسْتَفيدُ

فَوقُ: إلى ٱليَمينِ وَإلى ٱليَسارِ

دَورَتا ٱلنِّيتروجين وَٱلكَربون. النَّباتاتُ لا تَتَمَكَّنُ مِنَ ٱلحُصولِ عَلى ٱلنِّيتروجين ٱلطَّليقِ من ٱلهَواءِ، فَعَلَيها أنْ تَأْخُذَهُ مِنَ ٱلنِّتراتِ (مُرَكَّبات مِنَ ٱلنِّيتروجين وَٱلأُكسِجين) في ٱلتُّربَةِ. على أنَّها تَتَمَكَّنُ مِنَ ٱلحُصولِ عَلى ٱلكَربونِ مِنْ ثاني أُكسيدِ ٱلكَربون في ٱلهَواءِ عَن طَريقِ ٱلتَّمثيلِ ٱلضَّوئِيِّ. وَهٰذا ٱلكَربونُ وَٱلنِّيتروجين بِٱلإضافَةِ إلى ٱلأُكسِجين وَٱلهَيدروجين (مِنَ الماء) يُستَخدَمُ لإنتاجِ مَوادَّ نَباتِيَّةٍ عُضوِيَّةٍ.

إلى ٱلأسفَلِ ٱلأخفَض إلى ٱليَسار

ٱلتَّبَدُّلُ في سِلسِلَةٍ غِذائِيَّةٍ: ٱلثَّعالِبُ عادَةً تَقتاتُ بِٱلأرانِبِ. فَإذا ٱنقَطَعَتِ ٱلأرانِبُ تَحَوَّلَتِ ٱلثَّعالِبُ إلى ٱلدَّجاجِ.

إلى ٱلأسفَلِ

دَوْرَةٌ نَموذَجِيَّةٌ لِتَعاقُبِ ٱلزُّروعِ. بَعضُ ٱلنَّباتاتِ كَٱلبِرسيمِ لَها عُقَدٌ في جُذورِها تَحوي بَكتيريا تَأخُذُ ٱلنِّيتروجين مِنَ ٱلهَواءِ. وَعِندَما تَموتُ ٱلنَّباتاتُ يَنطَلِقُ هٰذا ٱلنِّيتروجين بِشَكلِ نِتراتٍ ويُخصِبُ ٱلأرضَ. لِذا يَزرَعُ ٱلمُزارِعونَ ٱلحُقولَ بِٱلبِرسيمِ مَرَّةً كُلَّ بِضعِ سَنَواتٍ لإخصابِ ٱلتُّربَةِ.

المُزارِعونَ مِنْ إحْدى مَراحِلِ دَوْرَةِ النِّيتْروجينِ في تَعاقُبِ المَحاصيلِ. وَيَبْدو اعْتِمادُ الحَيَواناتِ المُتَبادَلُ بَعْضِها عَلى بَعْضٍ وَعلى النَّباتاتِ في السَّلاسِلِ الغِذائِيَّةِ. فَفي الطَّبيعَةِ تَأْكُلُ الحَيَواناتُ عادَةً أنْواعًا مُحَدَّدَةً مِنَ الأطْعِمَةِ دونَ سِواها وَهِيَ عَلى العُمومِ بَعْضُ النَّباتاتِ أو الحَيَواناتِ الصَّغيرَةِ. وَالحَيَواناتُ نَفْسُها تُؤَلِّفُ طَعامًا لِما هُوَ أكْبَرُ مِنْها وَهٰذِهِ بِدَوْرِها تَفْتَرِسُها حَيَواناتٌ أكْبَرُ. وَيُعْرَفُ هٰذا بِالسِّلْسِلَةِ الغِذائِيَّةِ وَكُلُّ كائِنٍ يُؤَلِّفُ طَعامًا لِآخَرَ هُوَ حَلْقَةٌ في هٰذِهِ السِّلْسِلَةِ.

يَعْتَمِدُ الحَيَوانُ الواحِدُ على كَثيرينَ أُخَرَ في غِذائِهِ، بِالرَّغْمِ مِنْ أنَّهُ قَد لا يَقْتاتُ بِها مُباشَرَةً. فَالبومَةُ تَعْتَمِدُ عَلى الحَشَراتِ لأنَّ الحَشَراتِ تُؤَلِّفُ غِذاءَ الذُّبابِ وَالفِئْرانِ الَّتي تَتَغَذّى بِها البومُ. وَإذا أزَلْنا حَلْقَةً مِنَ السِّلْسِلَةِ بِإبادَةِ آفَةٍ حَشَرِيَّةٍ مَثَلًا، تَتَأَثَّرُ بِذٰلِكَ حَلَقاتُ السِّلْسِلَةِ الأُخْرى. وَهٰذا التَّدَخُّلُ مِن شَأْنِهِ أن يُحْدِثَ تَغَيُّراتٍ في السِّلْسِلَةِ الغِذائِيَّةِ. فَالحَيَوانُ إذا لَمْ يَتَمَكَّنْ مِنَ الحُصولِ عَلى أحَدِ عَناصِرِ غِذائِهِ الرَّئيسِيَّةِ سَيَتَحَوَّلُ حَتْمًا إلى الاغْتِذاءِ بِغَيْرِها.

فَالأمْرُ الَّذي يُصيبُ حَيَوانًا في أسْفَلِ السِّلْسِلَةِ الغِذائِيَّةِ قَد يُؤَثِّرُ عَلى عِدَّةِ حَيَواناتٍ في أعلى السِّلْسِلَةِ. وَبِالإمْكانِ مُلاحَظَةُ ذٰلِكَ في اسْتِخْدامِ مُبيداتِ الحَشَراتِ. فَالمُزارِعونَ يَسْتَخْدِمونَ هٰذِهِ المُبيداتِ لِلتَّخَلُّصِ مِنَ الحَشَراتِ الَّتي تُضِرُّ بِمَحاصيلِهِمْ. فَإذا أكَلَتِ الفِئْرانُ وَالذُّبابُ وَسِواها مِنَ الحَيَواناتِ الصَّغيرَةِ الحَشَراتِ المُسَمَّمَةَ تَتَسَمَّمُ هِيَ أيضًا. كما إنَّ الصُّقورَ وَالجَوارِحَ الَّتي تَأْكُلُ هٰذِهِ الحَيَواناتِ المُتَسَمِّمَةَ تَتَسَمَّمُ هِيَ أيضًا بِدَوْرِها بِالرَّغْمِ مِنْ أنَّها لا تَتَناوَلُ المُبيداتِ السّامَّةَ مُباشَرَةً.

إلى اليَسارِ

هَرَمٌ عَدَدِيٌّ وَهُوَ طَريقَةٌ أُخْرى لِتَمثيلِ السِّلْسِلَةِ الغِذائِيَّةِ. فَالحَيَواناتُ الصَّغيرَةُ تَأْكُلُها حَيَواناتٌ أكبَرُ غالِبًا. فَفي أيِّ سِلْسِلَةٍ غِذائِيَّةٍ يُسْتَهْلَكُ كَثيرٌ مِنَ الحَيَواناتِ الصَّغيرَةِ في غِذاءِ الحَيَوانِ الكَبيرِ.

تَحْتُ إلى الأسْفَلِ

قَد يُؤَدّي تَسَمُّمُ حَيَوانٍ في أسْفَلِ السِّلْسِلَةِ الغِذائِيَّةِ إلى تَسَمُّمِ حَيَواناتٍ في أعلى السِّلْسِلَةِ.

تَحْتُ إلى اليَمينِ

سِلْسِلَةٌ غِذائِيَّةٌ في البَحْرِ. كُلٌّ مِن هٰذِهِ الحَيَواناتِ يُمَثِّلُ حَلْقَةً في السِّلْسِلَةِ الغِذائِيَّةِ.

تَحْتُ

سِلْسِلَةٌ غِذائِيَّةٌ في حَرَجَةٍ (غابة).

إلى اليسار

لَقَدْ تزايدَ عددُ السُّكانِ في البُلْدانِ النّاميةِ بنِسَبٍ مُرْتفعةٍ جدًّا في الخَمْسينَ سنةً الأخيرةِ. ويرجعُ ذلكَ إلى حدٍّ كبيرٍ إلى توافُرِ الخَدَماتِ الطِّبِّيَّةِ العَصْريَّةِ في هٰذِهِ البُلْدانِ. فَعَدَدُ سُكّانِ البرازيلِ في عام ١٨٠٠ كانَ نِصْفَ عَدَدِ سُكّانِ إنْكِلْترا، وفي عام ١٩٧٠ انْعَكَسَتِ الآيَةُ فأصْبَحَ عَدَدُهُمْ ضِعْفَيْ عَدَدِ سُكّانِ إنْكِلْترا.. وفي البُلْدانِ المُتقدِّمَةِ كانَتْ زيادَةُ السُّكانِ عاليَةً خلالَ القَرْنِ التاسِعَ عَشَرَ ولكِنَّها تَراجَعَتْ في القَرْنِ الحاليِّ كما يبدو مِنَ الرَّسْمِ البيانيِّ بالخَطِّ الأخْضَرِ الّذي يُمثِّلُ زيادَةَ عَدَدِ السُّكّانِ في بَريطانيا خلالَ هٰذِهِ الفَتْرَةِ.

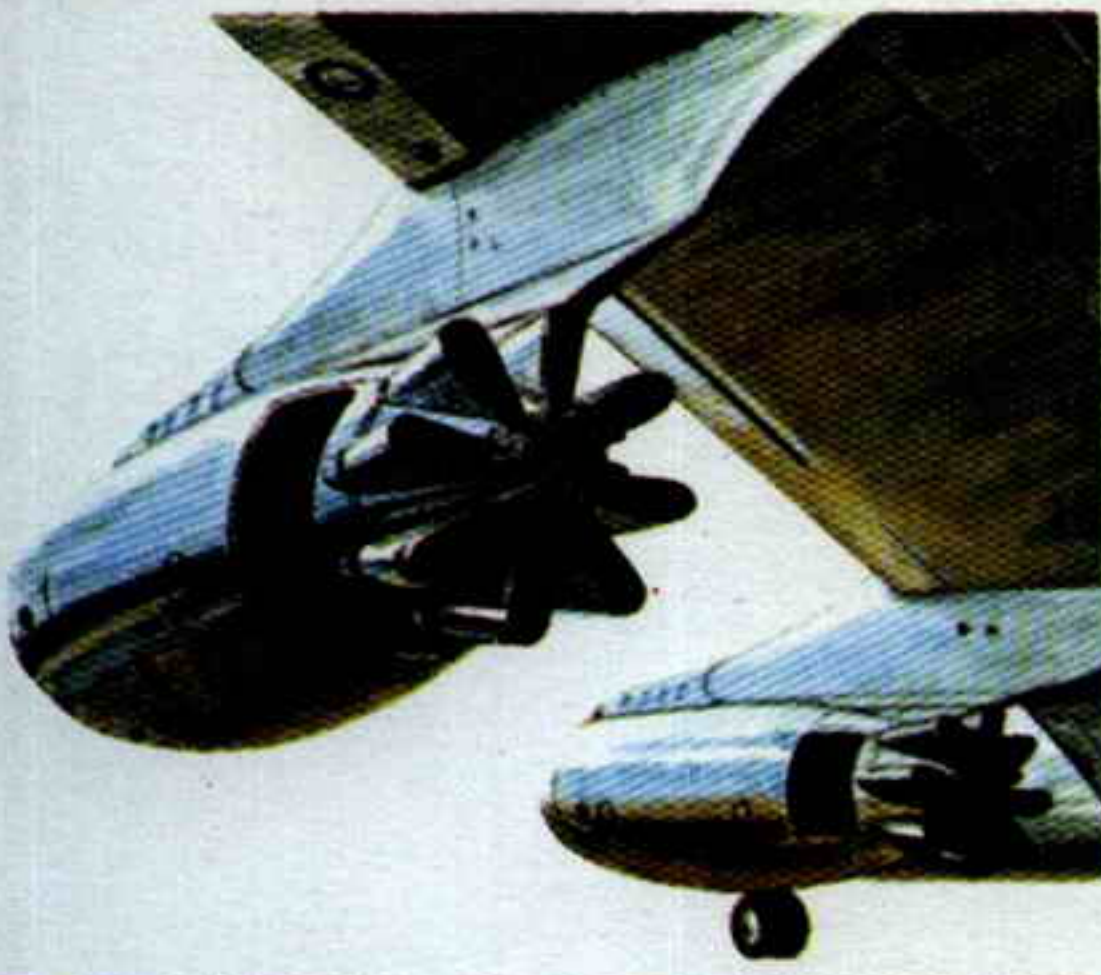
اَلتَّلَوُّثُ

سُكّانُ العالَمِ اليومَ أكْثَرُ مِمّا كانوا عليهِ في أيِّ وقتٍ مضى. ويرجعُ هٰذا التَّزايُدُ الّذي تَسارَعَ في السِّنين الأخيرةِ إلى الاكْتِشافاتِ الطِّبِّيَّةِ الّتي ساعَدَتْ في تَحْسينِ الصِّحَّةِ ومُقاوَمَةِ الأمْراضِ القَتّالَةِ. وَقَدْ رافَقَ هٰذا التَّزايُدَ السُّكّانِيَّ بِطَبيعَةِ الحالِ زيادَةٌ في الزِّراعَةِ والمَصايِدِ والمَصانِعِ والمَكَناتِ لِسَدِّ حاجاتِ هٰذِهِ الزِّيادَةِ.

وبِالرَّغْمِ مِنْ أنَّ هٰذِهِ الوسائلَ تُنْتِجُ المَزيدَ مِنَ الطَّعامِ لِلنّاسِ فإنَّها تُنْتِجُ أيضًا كَمِّيّاتٍ كبيرةً مِنَ النُّفاياتِ، وهٰذِهِ النُّفاياتُ يَصْعُبُ التَّخَلُّصُ مِنْها أحْيانًا وَقَدْ تكونُ مُضِرَّةً بِالنّاسِ والحيواناتِ والنَّباتاتِ. والبُلْدانُ المُتَطَوِّرَةُ (كَدُوَلِ أميركا وأوروبا) تَحوي صِناعاتٍ أكْثَرَ وبالتّالي نُفاياتٍ أكْثَرَ مِنَ البُلْدانِ النّامِيَةِ الأقَلِّ تَطَوُّرًا (كَدُوَلِ آسيا وأفريقيا). وعِنْدَما تَتَراكَمُ النُّفاياتُ تُصْبِحُ مَصْدَرًا لِتَلَوُّثِ البيئَةِ وإفْسادِها. ولِحُسْنِ الحَظِّ بَدَأَ الكثيرُ مِنَ البُلْدانِ يُدْرِكُ أخْطارَ التَّلَوُّثِ ويَتَّخِذُ الإجْراءاتِ لِلْحَدِّ مِنْهُ.

ويُعْتَبَرُ تَلَوُّثُ الجَوِّ أَحَدَ أَخْطَرِ أنواعِ التَّلَوُّثِ.

إلى اليسار

تُسَبِّبُ الطّائراتُ تَلَوُّثَ الجَوِّ بالغازاتِ المُنْفَلِتَةِ وتَمْلأُهُ بالضَّجيجِ المُزْعِجِ. والطّائراتُ النّافوريَّةُ أكْثَرُ الطّائراتِ تَلْويثًا بما تَنْفُثُهُ مُحَرِّكاتُها مِنْ دُخانٍ أسْوَدَ خانِقٍ. هٰذا الدُّخانُ يَتَألَّفُ مِنْ ذَرّاتٍ كَرْبونيَّةٍ غَيْرِ مُكْتَمِلَةِ الاحْتِراقِ.

إلى ٱليسارِ

مِنْ أكثَرِ مَصادِرِ ٱلضَّجيجِ إزْعاجًا مُحَرِّكاتُ ٱلطّائراتِ وَعلى ٱلأخَصِّ ٱلمُحَرِّكاتُ ٱلنَّفّاثَةُ، فَٱلمُحَرِّكُ ٱلنَّفّاثُ ٱلحَديثُ ذو قُدْرَةٍ عالِيَةٍ وَضَجيجٍ قَوِيٍّ مُرافِقٍ. وَتُسْتَخْدَمُ أجْهِزَةٌ مُخْتَلِفَةٌ لِتَخفيفِ هذا ٱلضَّجيجِ بِدونِ خَسارَةٍ في ٱلقُدْرَةِ. وَفي ٱلصّورَةِ تَبدو فوهَةُ نَفْثٍ مُغَضَّنَةٌ صُمِّمَتْ لِتَخْفيفِ ٱلضَّجيجِ في طائِرَةِ رولز رويس بوينغ ٧٠٧.

إلى ٱليَمينِ

يَتَزايَدُ تَلَوُّثُ شَواطِئِ ٱلبَحْرِ ٱلأبيضِ ٱلمُتَوَسِّطِ، فَٱلأوساخُ مِنَ ٱلبَواخِرِ ومَجاريرِ ٱلمُدُنِ وَنُفاياتِ ٱلمَصانِعِ جَميعُها تُسْهِمُ في تَنْفيرِ ٱلنّاسِ من هٰذِهِ ٱلشَّواطِئِ وَتُعَرِّضُ لِلخَطَرِ بَعْضَ أنواعِ ٱلحَياةِ ٱلبَحْرِيَّةِ فيها. وإذا ٱسْتَمَرَّتِ ٱلحالَةُ على ما هِيَ عَلَيهِ، يُحْتَمَلُ أن يُصْبِحَ هذا ٱلبَحْرُ غيرَ صالحٍ لِجميعِ أنواعِ ٱلحَياةِ.

فَوقُ

تَصُبُّ ٱلمَعامِلُ غالِبًا نُفاياتِها في ٱلأنْهارِ. فَإذا احْتَوَتْ هٰذِهِ ٱلنُّفايات عَلى مَوادَّ كِماوِيَّةٍ خَطِرَةٍ وَلَوْ بِكَمِّيّاتٍ ضَئيلَةٍ فإنَّ ذٰلِكَ قَدْ يُؤدّي إلى تَسْميمِ مِياهِ ٱلأنْهارِ وَيَقْضي عَلى ٱلأسْماكِ وَٱلحَياةِ ٱلمائِيَّةِ فيها.

وَٱلنُّفاياتُ ٱلرَّئيسيَّةُ ٱلَّتي تُلَوِّثُ ٱلهَواءَ هِيَ ٱلغازاتُ مِثْلُ ثاني أُكْسيدِ ٱلكِبْريتِ وأوَّلِ أُكسيدِ ٱلكَربون. وَٱلدُّخانُ أيضًا يُسَبِّبُ ٱلتَّلَوُّثَ فَهُوَ يَتَألَّفُ مِن جُسَيْماتٍ دَقيقَةٍ مِنْ مَوادَّ صُلْبَةٍ كَٱلقار وَٱلكَربونِ، مُعَلَّقَةٍ في ٱلهَواءِ. هٰذِهِ ٱلجُسَيْماتُ تُضِرُّ بِٱلصِّحَّةِ وَتُعيقُ نُمُوَّ ٱلنَّباتاتِ.

وَأهَمُّ مَصادِرِ ٱلتَّلَوُّثِ هٰذِهِ هيَ حَرَكَةُ ٱلسَّيرِ وَبِخاصَّةٍ ٱلغازاتُ ٱلمُنْفَلِتَةُ مِن عَوادِمِ ٱلسَّيّاراتِ وَٱلشّاحِناتِ، وَكَذٰلِكَ ٱلمَصانِعُ ومَحَطّاتُ تَوْليدِ ٱلقُدْرَةِ. وَقَدْ تُسَبِّبُ مُرَكَّباتُ ٱلرَّصاص ٱلمُنْطَلِقَةُ مَعَ دُخانِ ٱلعَوادِمِ تَلَوُّثًا خَطِرًا في ٱلهَواءِ ٱلَّذي نَتَنَشَّقُهُ.

تَلَوُّثُ ٱلبِحارِ وَٱلأنْهارِ هُوَ أيضًا مَسألَةٌ خَطيرَةٌ لأنَّ ٱلإنْسانَ بِحاجَةٍ إلى ماءٍ نَقِيٍّ لِلشُّرْبِ. كما إنَّ ٱلأسْماكَ وَغَيْرَها مِنَ ٱلحَيواناتِ ٱلمائيَّةِ تَتَضَرَّرُ كَثيرًا بِهٰذا ٱلنَّوعِ مِنَ ٱلتَّلَوُّثِ. وَٱلمَوادُّ ٱلَّتي تُسَبِّبُ تَلَوُّثَ ٱلأنْهارِ هِيَ مَوادُّ ٱلتَّنْظيفِ ٱلكِماوِيَّةُ وَٱلنُّفاياتُ ٱلسّامَّةُ مِنَ ٱلمَعامِلِ وَٱلمَصانِعِ وَمُبيداتُ ٱلحَشَراتِ وَمُبيداتُ ٱلأعشابِ. وَٱلمَجاريرُ مِنَ ٱلمَنازِلِ وَٱلشَّوارِعِ بِما تَحْمِلُهُ مِنْ أقذارٍ وَنُفاياتٍ هِيَ أيضًا مِنْ مَصادِرِ ٱلتَّلَوُّثِ.

وَيُؤَدّي ٱلتَّلَوُّثُ في ٱلمَناطِقِ ٱلزِّراعيَّةِ إلى مَوْتِ ٱلنَّباتاتِ. وَسَبَبُه في ٱلغالِبِ مُبيداتُ ٱلحَشَراتِ وَٱلنَّباتاتِ ٱلَّتي يَسْتَعْمِلُها ٱلمُزارِعونَ في مُكافَحَةِ ٱلحَشَراتِ ٱلمُؤْذِيَةِ وَٱلآفاتِ ٱلنَّباتِيَّةِ. وَيُواصِلُ ٱلعُلَماءُ سَعْيَهُمْ لِلتَّوَصُّلِ إلى وَسائلَ أقَلَّ ضَرَرًا في مُكافَحَةِ هٰذِهِ ٱلآفاتِ.

وَهُناكَ تَلَوُّثٌ مِن نَوعٍ آخَرَ هُوَ ٱلتَّلَوُّثُ ٱلضَّجيجِيُّ ٱلَّذي تَعِجُّ بِهِ ٱلمُدُنُ، وَسَبَبُهُ ٱلطّائراتُ وَٱلسَّيّاراتُ وَٱلمَكَناتُ كَجِهازِ ٱلحَفْرِ ٱلهَوائِيِّ وَكَذٰلِكَ ٱلرّاديوات وَٱلفونوغرافات وَأجْهِزَةُ ٱلتَّسجيلِ. فَمِثْلُ هٰذا ٱلضَّجيجِ مُزْعِجٌ ولا شَكَّ وَقَد يُلْحِقُ ٱلضَّرَرَ فِعْلًا بِٱلَّذين يَشْتَدُّ تَعَرُّضُهُمْ لَهُ.

بَعضُ ٱلعَناصِرِ ٱلشّائِعَةِ :

إِسمُ ٱلعُنصُرِ	رَمزُهُ	تاريخُ ٱكتِشافِهِ	خواصُّهُ واستِعمالُهُ
الألومنيوم	لو	١٨٢٧	فِلِزٌّ فِضِّيُّ ٱللَّونِ تصنع من سبائكِهِ ٱلخَفيفَةِ ٱلطّائِراتُ وَٱلأواني ٱلمُختَلِفَةُ
البرومين	بر	١٨٢٧	سائِلٌ لافِلِزِّيٌّ لَونُهُ أَسمَرُ ضارِبٌ إلى ٱلحُمرَةِ
ٱلكالسيوم	كا	١٨٠٨	فِلِزٌّ فِضِّيُّ ٱللَّونِ ، مُرَكَّباتُهُ في ٱلعِظامِ وَٱلأَسنانِ
ٱلكربون	ك	قَبلَ ٱلتّاريخِ	لافِلِزٌّ صُلبٌ ، مِنْ أَشكالِهِ ٱلماسُ وَٱلغَرافيتُ وَيوجَدُ في ٱلمَوادِّ ٱلعُضوِيَّةِ
الكلور	كل	١٧٧٤	غازٌ أَصفَرُ مُخضَرٌّ ، يُستَخدَمُ كَمُطَهِّرٍ
ٱلنُّحاسُ	نح	قَبلَ ٱلتّاريخِ	فِلِزٌّ بُنِّيٌّ مُحمَرٌّ ، مُوصِلٌ جَيِّدٌ ، تُصنَعُ مِنهُ ٱلأَسلاكُ وَٱلكَبولُ
ٱلذَّهَبُ	ذ	قَبلَ ٱلتّاريخِ	فِلِزٌّ أَصفَرُ ، تُصنَعُ مِنهُ ٱلحُلِيُّ
ٱلهَيدروجين	يد	١٧٦٦	غازٌ لا لَونَ لَهُ ، أَكثَرُ ٱلمَوادِّ ٱنتِشارًا في ٱلكَونِ
ٱليود	ي	١٨١١	لافِلِزٌّ أَسوَدُ صُلبٌ
ٱلحَديدُ	ح	قَبلَ ٱلتّاريخِ	فِلِزٌّ أَبيَضُ فِضِّيٌّ ، أَساسُ ٱلفولاذِ
ٱلرَّصاصُ	ر	قَبلَ ٱلتّاريخِ	فِلِزٌّ أَبيَضُ ضارِبٌ إلى ٱلزُّرقَةِ ، ثَقيلٌ جِدًّا : لِلأَنابيبِ ٱللَّيِّنَةِ
ٱلزِّئبَقُ	ب	قَبلَ ٱلتّاريخِ	لا فِلِزٌّ سائِلٌ فِضِّيٌّ يُستَخدَمُ في مَوازينِ ٱلحَرارَةِ
ٱلنِّتروجين	ن	١٧٧٢	غازٌ لا لَونَ لَهُ ، يُؤَلِّفُ ٤/٥ الهواء ، في ٱلكائِناتِ ٱلحَيَّةِ
ٱلأُكسجين	أ	١٧٧٤	غازٌ لا لَونَ لَهُ ، حَوالَي ١/٥ ٱلهَواءِ ، أَكثَرُ ٱلعَناصِرِ وَفرَةً عَلى ٱلأَرضِ
ٱلسِّليكون	س	١٨٢٤	لافِلِزٌّ صُلبٌ ، يوجَدُ في مُعظَمِ ٱلصُّخورِ ، يُستَخدَمُ في ٱلترانزستور
ٱلصّوديوم	ص	١٨٠٧	فِلِزٌّ فِضِّيٌّ ، مَوجودٌ في ٱلمِلحِ
ٱلكِبريت	كب	قَبلَ ٱلتّاريخِ	لا فِلِزٌّ صُلبٌ ، أَصفَرُ فاتِحٌ
ٱلقَصديرُ	ق	قَبلَ ٱلتّاريخِ	فِلِزٌّ فِضِّيُّ ٱللَّونِ ، في صِناعَةِ عُلَبِ ٱلصَّفيحِ
ٱليورانيوم	يو	١٨٤١	فِلِزٌّ فِضِّيٌّ أَبيَضُ مُشِعٌّ ، لِلوَقودِ ٱلنَّوَوِيِّ وَٱلأَسلِحَةِ ٱلنَّوَوِيَّةِ
ٱلخارصين (ٱلزِّنك)	خ	قَبلَ ٱلتّاريخِ	فِلِزٌّ أَبيَضُ مائِلٌ إلى ٱلزُّرقَةِ ، يُمزَجُ مَعَ ٱلنُّحاسِ لِصُنعِ ٱلنُّحاسِ ٱلأَصفَرِ

بَعضُ ٱلمُرَكَّباتِ ٱلكيماوِيَّةِ :

ٱلمُرَكَّبُ	ٱلأِسمُ ٱلكيماوِيُّ	المعادلة (الصيغة)	ٱلوَصفُ
ٱلماءُ		يد$_2$ أ	سائِلٌ لا لَونَ لَهُ
ثاني اكسيدِ الكربون		ك أ$_2$	غازٌ لا لَونَ لَهُ
ٱلمِلحُ	كلوريد ٱلصّوديوم	ص كل	مَسحوقٌ أَبيَضُ
ٱلخَلُّ	حامِضُ ٱلأَسيتيك	ك يد$_3$ ك أ أ يد	سائِلٌ لا لَونَ لَهُ وَهُوَ نَقِيٌّ
صودا ٱلغَسيلِ	كَربوناتُ ٱلصّوديوم	ص$_2$ ك أ$_3$	بِلَّوراتٌ كَبيرَةٌ بَيضاءُ أَو عَديمَةُ ٱللَّونِ
بيكَربوناتُ ٱلصودا	كربونات ٱلصّوديوم ٱلهَيدروجينِيَّةُ	ص يد ك أ$_3$	مَسحوقٌ أَبيَضُ

أَلمَعُ ٱلنُّجومِ ٱلَّتي تُشاهَدُ مِنَ ٱلأَرضِ :

ٱلنَّجمُ	ٱلكوكَبَةُ	ٱلبُعدُ (بِالسِّنينَ ٱلضَّوئِيَّةِ)
ٱلشِّعرى ٱليَمانِيَّةُ	ٱلكَلبُ ٱلأَكبَرُ	٨٫٨
سُهَيل	ٱلجُؤجُؤُ	٩٧٫٨
ألفا قنطوروس	قنطوروس	٤٫٢
ٱلسِّماكُ ٱلرّامِحُ	ٱلعَوّاءُ	٣٥٫٩
ٱلنَّسرُ ٱلواقِعُ	ٱلقيثارَةُ	٢٦٫١
ٱلعَيّوق	ذو ٱلأَعِنَّةِ	٤٥٫٦

ٱلسَّنَةُ ٱلضَّوئِيَّةُ = ٥٫٩ مليون مليون ميل

اَلقِيَاسُ وَالحَرَكَةُ وَالطَّاقَة

المُحْتَوَيَات — الصَّفحَة

فَوق

يَتألَّفُ اَلمِترُ مِن ١٠٠ سَنتيمترٍ وَيَتألَّفُ كُلُّ سَنتيمِترٍ مِن ١٠ مِلّيمِترات . وَيَستَعمِلُ عُلَماءُ اَلذَّرَّةِ وَحَداتٍ مِتْرِيَّةً أَصْغَرَ مِن ذٰلِكَ . فَالميكرومِتر (الميكرون) يُساوي واحِدًا عَلى أَلْفٍ مِنَ المِلّيمِتر . وَالنّانومِتر يُساوي واحِدًا عَلى أَلْفٍ من اَلميكرومِتر . أَمّا اَلبيكومِتر فَيُساوي واحِدًا عَلى أَلْفٍ من اَلنّانومِتر . وَإِنَّهُ على ذٰلِكَ يكونُ مُساوِيًا لِواحِدٍ على مَلْيونِ مَلْيونٍ مِنَ اَلمِترِ .

فَوقُ إلى اَليَسارِ

اَلوَحْدَةُ اَلقَديمَةُ اَلمُسمّاةُ بِالذِّراعِ تُساوي اَلمَسافَةَ مِنْ طَرَفِ اَلمِرْفَقِ إلى طَرَفِ اَلإِصْبَعِ اَلوُسْطى لِلرَّجُلِ . وَنَحْنُ نَعْلَمُ مِن قِياساتِ اَلأَهْرامِ اَلمُسَجَّلَةِ بِأَنَّ اَلمِصْرِيّينَ اَعْتَبَروا اَلذِّراعَ مُساوِيًا ٥٣ سَنْتيمِترًا . أَمّا اَليارْدَة فَيُزْعَمُ بِأَنَّها اَلمَسافَةُ بَيْنَ أَنْفِ اَلمَلِكِ اَلفَريد وَطَرَفِ أَصابِعِ يَدِهِ اَلمَمْدودَةِ .

اَلطُّول

عِنْدَما نَتَكَلَّمُ عَنِ اَلطُّولِ فَإِنَّهُ يَتَوَجَّبُ عَلَيْنا دائمًا مُقارَنَةُ قِياسٍ ما بِالنِّسْبَةِ إلى قِياسٍ آخَرَ . فَبِقَولِكَ مَثَلاً إِنَّكَ أَطْوَلُ مِنْ شَخْصٍ آخَرَ تَعْني أَنَّ اَلمَسافَةَ من أَخْمَصِ قَدَمَيْكَ إلى قِمَّةِ رَأْسِكَ هِيَ أَكبَرُ مِن نَفْسِ تِلْكَ اَلمَسافَةِ عِنْدَ اَلشَّخْصِ اَلآخَرِ . وَلكِنَّكَ إذا أَرَدْتَ مَعْرِفَةَ ما إذا كُنْتَ أَطْوَلَ مِنْ صَديقٍ لَكَ في مَدينَةٍ أُخْرى فَإِنَّهُ مِنْ غَيرِ اَلمُمْكِنِ مُقارَنَةُ طُولَيكُما بِالوُقوفِ جَنْبًا إلى جَنْبٍ . وَاَلبَديلُ عَنْ ذٰلِكَ هُوَ اَسْتِعْمالُ مِقْياسٍ ما كَمِسْطَرَةٍ أَو شَريطِ قِياسٍ مَثَلاً لِمُقارَنَةِ طُولَيكُما . وفي هٰذِهِ اَلحالَةِ تَكونانِ قَدِ اَسْتَبْدَلْتُما بِمُقارَنَةِ طُولَيكُما مُباشَرَةً مُقارَنَتَهُما نِسْبَةً إلى وَحْدَةٍ قِياسِيَّةٍ لِلطُّولِ ، كَالمِترِ أَوِ اَلقَدَمِ . لكِنَّ اَسْتِعْمالَ هٰذِهِ اَلطَّريقَةِ غَيْرُ مُمْكِنٍ إذا كانَتِ اَلوَحْدَةُ اَلقِياسِيَّةُ لِلطُّولِ مُخْتَلِفَةً مِنْ مَكانٍ إلى آخَرَ . لِذا فَمِنَ اَلمُهِمِّ جِدًّا اَلتَّأَكُّدُ مِن كَوْنِ اَلوَحْدَةِ اَلقِياسِيَّةِ هِيَ نَفْسَها في كُلِّ مَكانٍ .

وَظَلَّتِ اَليارْدَة أَساسًا لِقِياسِ اَلطُّولِ في اَلنِّظامِ اَلبريطانيِّ حَتّى عام ١٩٧٥ حِينَ تَمَّ اَلتَّحَوُّلُ إلى نِظامِ اَلقِياساتِ اَلمِتْرِيِّ . وَتَقولُ اَلأَساطيرُ إِنَّ اَليارْدة قَدْ حُدِّدَتْ بِالمَسافَةِ بَيْنَ طَرَفِ أَنْفِ اَلمَلِكِ أَلْفريد وَطَرَفِ أَصابِعِهِ وَذِراعُهُ مَمْدودَةٌ .

وَكانَ أَوَّلُ مِقْياسٍ عِيارِيٍّ دَقيقٍ لِلْيارْدَة قَدْ تَمَّ صُنْعُهُ في عامِ ١٨٧٨ مِنْ قَضيبٍ مِنَ اَلبرونْز وَحُفِظَ لَدى اَلحُكومَةِ . وَأُطْلِقَ عَلَيْهِ اَسْمُ اَلعِيارِ اَلأَوَّلِيِّ . وَعَنْ تِلْكَ اَليارْدَةِ اَلعِيارِيَّةِ كانَتْ تُؤخَذُ قُضْبانٌ بِطُولِها لِتُحْفَظَ كَعِياراتٍ ثانَوِيَّةٍ في اَلمُخْتَبَراتِ في شَتّى أَنْحاءِ اَلبِلادِ . وَلَقَدْ تَبَيَّنَ في عامِ ١٩٦٠ أَنَّ اَليارْدَةَ اَلعِيارِيَّةَ اَلبريطانِيَّةَ تَتَقَلَّصُ بِنِسْبَةِ واحِدٍ على ٣٦ مِليونًا من طولِها سَنَوِيًّا . وَقُرِّرَ إذّاكَ اَلتَّخَلّي عَنْ هٰذا اَلنَّوعِ مِنَ اَلعِيارِ لِلطُّولِ . وَفي عام ١٩٦٣ حُدِّدَتِ اَليارْدَة مِن جَديدٍ نِسْبَةً إلى اَلمِترِ ، بِحَيْثُ تُساوي ٠،٩١٤٤ مِنْهُ .

وَاَلمِتْرُ هُوَ اَلوَحْدَةُ اَلقِياسِيَّةُ لِلطُّولِ في مُعْظَمِ أَنْحاءِ اَلعالَمِ . وَكانَ قَدْ حُدِّدَ أَصْلًا كَواحِدٍ عَلى عَشَرَةِ مَلايينَ مِن طُولِ خَطِّ اَلطُّولِ اَلمارِّ بِمَدينَةِ دنكرك في فَرَنْسا .

وَفي عامِ ١٩٢٧ ، أُعيدَ تَحْديدُ اَلمِترِ كَطولِ قَضيبٍ مِنْ سَبيكَةٍ مِنَ اَلبلاتين وَاَلإيريديوم مَحْفوظٍ في باريس . وَلكِنَّهُ تَبَيَّنَ فيما بَعْدُ أَنَّ هٰذا اَلقَضيبَ يُعاني هُوَ أَيضًا مِنْ تَغَيُّراتٍ طَفيفَةٍ في اَلطُّولِ . وَفي عام ١٩٦٠ ، وُضِعَ

١١ , ٢ سم
لِلقياساتِ الدّاخِليَّةِ
مِقياسٌ بورنيَّة
قِراءة ١١ , ٢ سم
لِلقياساتِ الخارجيَّة
١١ , ٢ سم

سَقّاطَة
مِحْوَرٌ دَوراني
سِنْدان
كُمٌّ (سم)
المِقياسُ الخارِجيُّ ٥٦٢ , ٠ سم

يُقرأُ الكُمّ ٥٥ , ٠ سم
تُقرأُ الحَلْقَةُ ١٢ جُزءًا = ٠١٢ , ٠ سم
القِراءةُ الكُلِّيَّةُ ٥٦٢ , ٠ سم

فَوْقُ

يُسْتَخْدَمُ مِقْياسُ الثُّخْنِ الميكرومِتْرِيُّ (المِقْدادُ) لِقِياسِ القُطْرِ الدّاخِلِيَّةِ أَوِ الخارِجِيَّةِ لِلأَجْسامِ الدّائِرِيَّةِ المَقْطَعِ. وتُقْرَأُ المَسافَةُ بين فَكَّيِ المِقْدادِ عَلى مِقْياسِهِ المُدَرَّجِ.

في الوسط إلى اليمين

إنَّ الميكرومتر هُوَ آلَةٌ لِقِياسِ المَسافاتِ الصَّغيرَةِ بِدِقَّةٍ كَبيرَةٍ. وَهُوَ يَتَأَلَّفُ مِنْ كُمٍّ أُسْطُوانِيٍّ يَدورُ حَوْلَ لَوْلَبٍ داخِلِيٍّ. وَعِنْدَما يَدورُ الكُمُّ الأُسْطُوانِيُّ فَإِنَّهُ يَدْفَعُ طَرَفَ الميكرومِتْرِ حَتّى يُلامِسَ الجِسْمَ المُرادَ قِياسُهُ فَيَتَسَجَّلُ بِالتّالي عَرْضُ ذٰلِكَ الجِسْمِ عَلى المِقْياسِ.

إلى اليسار

تُقاسُ المَسافاتُ الأَرْضِيَّةُ بِاسْتِعْمالِ شَريطٍ أَو مِقْياسٍ لِلطُّولِ. وَهُوَ ما يَسْتَعْمِلُهُ البَنّاؤونَ أَوِ المُراقِبونَ لِتَحْديدِ أَساساتِ الأَبْنِيَةِ. وَهٰذِهِ الأَشْرِطَةُ مُدَرَّجَةٌ وَمُرَقَّمَةٌ بِحَيْثُ تُقْرَأُ المَسافَةُ المَقيسَةُ مُباشَرَةً.

تَعريفٌ عالَمِيٌّ جَديدٌ لِلْمِتْرِ يَعْتَمِدُ عَلى الطُّولِ المَوْجِيِّ لِلضَّوْءِ المُنْبَعِثِ مِنَ الذَّرّاتِ. وَهٰذا الطُّولُ ثابِتٌ لا يَتَغَيَّرُ أَبَدًا. فَالضَّوْءُ الَّذي تَبْعَثُهُ ذَرَّةٌ ما في ظُروفٍ مُحَدَّدَةٍ ثابِتُ الطُّولِ المَوْجِيِّ دائمًا. وَلَقَدِ اخْتيرَتْ لِهٰذِهِ الغايَةِ ذَرَّةُ أَحَدِ نَظائِرِ غازِ الكريبتون حَيْثُ يُساوي المِتْرُ حالِيًّا ٧٣ , ١٦٥٠٧٦٣ طولًا مَوْجِيًّا لِلضَّوْءِ المُنْبَعِثِ مِنْ ذَرَّةِ الكريبتون، تَحْتَ شُروطٍ مُعَيَّنَةٍ.

هٰذا وَيَسْتَخْدِمُ عُلَماءُ الفَلَكِ وَحْدَةً أُخْرى لِقِياسِ المَسافاتِ بَيْنَ النُّجومِ هِيَ السَّنَةُ الضَّوْئِيَّةُ، وَتُعَرَّفُ بِأَنَّها المَسافَةُ الَّتي يَقْطَعُها الضَّوْءُ خِلالَ سَنَةٍ كامِلَةٍ. فَإِذا عَلِمْنا أَنَّ سُرْعَةَ الضَّوْءِ ٣٠٠ مليون مِتْرٍ في الثّانِيَةِ، وَبِأَنَّ في السَّنَةِ ٥ , ٣١ مليون ثانِيَةٍ، فَإِنَّ السَّنَةَ الضَّوْئِيَّةَ تُمَثِّلُ مَسافَةً هائِلَةً تُقَدَّرُ بِحَوالى ٩ مَلايين مليون كم (٤٦ , ٩ × ١٠^١٥ مترًا).

اَلوَقْتُ

مُنْذُ ٱلقِدَمِ وَقَبْلَ أَنْ تُخْتَرَعَ ٱلسّاعاتُ ، عَرَفَ ٱلإنسانُ أَنَّ ٱلفُصولَ تَتَعاقَبُ عَلى فَتَراتٍ مُنْتَظِمَةٍ ، وَأَنَّ ٱلشَّمْسَ تُشْرِقُ وَتَغيبُ فَيَتَعاقَبُ ٱللَّيْلُ وَٱلنَّهارُ . كَذٰلِكَ تَمَكَّنَ إِنسانُ ما قَبْلَ ٱلتّاريخِ مِن قِياسِ ٱلوَقْتِ بِٱسْتِعْمالِ ٱلظَّواهِرِ ٱلطَّبيعِيَّةِ ٱلمُنْتَظِمَةِ . فَسَمّى ٱلفَتْرَةَ ٱلفاصِلَةَ بَيْنَ صَيْفَيْنِ مُتَتالِيَيْنِ سَنَةً ، وَٱلزَّمَنَ بَيْنَ شُروقَيْنِ مُتَتالِيَيْنِ لِلشَّمْسِ يَوْمًا . كَما ٱتَّخَذَ مِنْ أَوْجُهِ ٱلقَمَرِ ٱلمُخْتَلِفَةِ أَساسًا لِقِياسِ ٱلوَقْتِ . فَلاحَظَ أَنَّ ٱلفَتْرَةَ بَيْنَ هِلالَيْنِ أَو بَدْرَيْنِ أَو مَحاقَيْنِ ثابِتَةٌ وَمِقْدارُها ٢٩ يَوْمًا . وَعَلى ذٰلِكَ ، فَإِنَّهُ عِنْدَما يُقالُ بِأَنَّ عِدَّةَ أَهِلَّةٍ أَو أَقْمارٍ قَدْ وَلَّتْ ، يُفْهَمُ مِنْ لَفْظَةِ ٱلهِلالِ أَوِ ٱلقَمَرِ شَهْرٌ قَمَرِيٌّ .

وَنَحْنُ نَعْلَمُ ٱلآنَ بِأَنَّ جَميعَ هٰذِهِ ٱلظَّواهِرِ ٱلمُنْتَظِمَةِ يُمْكِنُ تَفْسيرُها بِحَقائِقِ عِلْمِ ٱلفَلَكِ . فَكَلِمَةُ يَوم تَعْني ٱلزَّمَنَ ٱللّازِمَ لِلأَرْضِ كَي تَدورَ دَوْرَةً كامِلَةً حَوْلَ مِحْوَرِها . وَلٰكِنَّ لِلأَرْضِ في ٱلوَقْتِ نَفْسِهِ دَوْرَةً أُخرى حَوْلَ ٱلشَّمْسِ تَسْتَغْرِقُ سَنَةً مِنَ ٱلزَّمَنِ ، تُكْمِلُها في ٣٦٥ يَوْمًا وَرُبْعِ ٱليَوْمِ . وَهٰذا ٱلرُّبْعُ يُحْسَبُ كُلَّ أَرْبَعِ سَنَواتٍ يَوْمًا يُضافُ إِلى ٱلسَّنَةِ ٱلكَبيسَةِ فَتُصْبِحُ ٣٦٦ يَوْمًا وَيَكونُ شَهْرُ شُباطَ فيها ٢٩ يَوْمًا ، (بَيْنَما تُعْتَبَرُ ٱلسَّنَةُ ٱلعادِيَّةُ ٣٦٥ يَوْمًا فَقَطْ) وَهٰذا ٱلتَّرْتيبُ يُبْقي ٱلتَّقْويمَ ٱلسَّنَوِيَّ مُتَوافِقًا مَعَ حَرَكَةِ ٱلأَرْضِ حَوْلَ ٱلشَّمْسِ وَبِٱلتّالي مَعَ فُصولِ ٱلسَّنَةِ . أَمّا ٱلشَّهْرُ ٱلقَمَرِيُّ (ٱلمُحَدَّدُ بِأَوْجُهِ ٱلقَمَرِ) فَناتِجٌ عَن دَوَرانِ ٱلقَمَرِ حَوْلَ ٱلأَرْضِ وَهٰذا ما يُفَسِّرُ واقِعَهُ ٱلمُنْتَظَمَ .

يُقَسَّمُ ٱليَوْمُ إِلى ٢٤ قِسْمًا مُتَساوِيًا قيمَةُ كُلٍّ مِنها ساعَةٌ . وَتُقَسَّمُ ٱلسّاعَةُ إِلى ٦٠ دَقيقَةً ، وَٱلدَّقيقَةُ إِلى ٦٠ ثانِيَةً .

تُعْتَبَرُ ٱلمِزْوَلَةُ ٱلشَّمْسِيَّةُ إِحْدى ٱلوَسائِلِ ٱلَّتي ٱسْتُعْمِلَتْ لِبَيانِ ٱلوَقْتِ . فَبِدَوَرانِ ٱلأَرْضِ حَوْلَ مِحْوَرِها ، يَتَحَرَّكُ ظِلُّ ٱلشّاخِصِ في ٱلمِزْوَلَةِ فَوقَ سَطْحٍ يُدَرَّجُ بِعِنايَةٍ بِحَيْثُ يُمْكِنُ ٱسْتِعْمالُهُ فيما بَعدُ لِحِسابِ ٱلوَقْتِ . وَهُنالِكَ طُرُقٌ أُخرى لِقِياسِ ٱلوَقْتِ ، تَعْتَمِدُ على ظَواهِرَ أَو عَمَلِيّاتٍ مُنْتَظِمَةِ ٱلسُّرْعَةِ ، كَٱشْتِعالِ ٱلشَّمْعَةِ مَثَلًا . فَإِذا كانَ لَدَيْكَ شَمْعَتانِ مُتَشابِهَتانِ فَإِنَّ بِإِمْكانِكَ صُنْعَ ساعَةٍ شَمْعِيَّةٍ . وَذٰلِكَ بِحِسابِ ٱلزَّمَنِ ٱللّازِمِ لِحَرْقِ مَسافَةٍ مَعْلومَةٍ مِنَ ٱلشَّمْعَةِ . وَلْنَفْرِضْ مَثَلًا أَنَّهُ في ٣ ساعاتٍ نَقَصَ طولُ ٱلشَّمْعَةِ ٣ سَنْتِمِتْراتٍ . أَي إِنَّهُ في ساعَةٍ واحِدَةٍ يَحْتَرِقُ سَنْتِمِتْرٌ واحِدٌ مِنَ ٱلشَّمْعَةِ . ٱلآنَ عَلِّمْ شَمْعَتَكَ ٱلثّانِيَةَ بِإِشاراتٍ سَنْتِمِتْرِيَّةٍ ، ثُمَّ أَشْعِلْها . إِنَّ بِإِمْكانِكَ حِسابَ ٱلوَقْتِ ٱلمُنْقَضي بِمُلاحَظَةِ عَدَدِ ٱلإِشاراتِ ٱلمُخْتَفِيَةِ . وَمِنَ ٱلظَّواهِرِ ٱلأُخْرى ٱلمُسْتَعْمَلَةِ لِقِياسِ ٱلزَّمَنِ عُبورُ ٱلرَّمْلِ مِن ثَقْبٍ صَغيرٍ ، وَهُوَ أَساسُ ٱلسّاعَةِ ٱلرَّمْلِيَّةِ . كَذٰلِكَ ٱسْتُخْدِمَتْ ذَبْذَبَةُ ٱلنَّوّاسِ (أَوِ ٱلبَنْدولِ) أَساسًا لِقِياسِ ٱلوَقْتِ في ٱلسّاعاتِ ٱلبَنْدولِيَّةِ .

وَٱلبَنْدولُ هُوَ عِبارَةٌ عَن كُتْلَةٍ مُعَلَّقَةٍ بِقَضيبٍ أَو خَيْطٍ مِن نُقْطَةٍ ثابِتَةٍ . وَٱلمَعْروفُ أَنَّ ٱلبَندولَ يَسْتَغْرِقُ وَقْتًا ثابِتًا في ٱلتَّرَجُّحِ مِن جِهَةٍ إِلى ٱلأُخْرى بِغَضِّ ٱلنَّظَرِ عَنْ طُولِ ٱلمَسافَةِ ٱلَّتي يَجْتازُها . فَمِنْ أَجْلِ ٱلحُصولِ عَلى فَتَراتِ ذَبْذَبَةٍ مُخْتَلِفَةٍ يَجِبُ ٱسْتِعْمالُ قُضْبانٍ أَوْ خيطانٍ بِأَطْوالٍ مُخْتَلِفَةٍ .

يَسْتَعْمِلُ ٱلعُلَماءُ حالِيًّا ساعاتٍ حَديثَةً تَعْتَمِدُ عَلى تَذَبْذُبِ ٱلذَّرّاتِ . وَتَتَمَيَّزُ هٰذِهِ ٱلسّاعاتُ بِدِقَّتِها ٱلفائِقَةِ حَيْثُ مَجالُ ٱلخَطَإِ فيها لا يَتَجاوَزُ ٱلثّانِيَةَ ٱلواحِدَةَ في ٣٠٠٠ سَنَةٍ .

في ٱلأسفَل

يَتَسَبَّبُ دَوَرانُ ٱلأَرْضِ حَولَ ٱلشَّمسِ في حُدوثِ ٱللَّيلِ وَٱلنَّهارِ . فَعِنْدَما يَكونُ أَحَدُ نِصْفَيِ ٱلأَرضِ في ٱلظَّلامِ يَكونُ ٱلنِّصفُ ٱلثّاني مُضاءً بِنورِ ٱلشَّمسِ .

غرينتش

٠٣,٠٠
٣ بَعْدَ مُنْتَصَفِ ٱللَّيلِ
لَيلٌ في غرينتش

٠٦,٠٠
٦ بَعْدَ مُنْتَصَفِ ٱللَّيلِ
فَجْرٌ في غرينتش

١٦,٣٠
٤,٣٠ بَعْدَ ٱلظُّهرِ
بَعْدَ ٱلظُّهرِ في غرينتش

٢٠,٠٠
٨ مَساءً
ٱلمَساءُ في غرينتش

فَوقُ

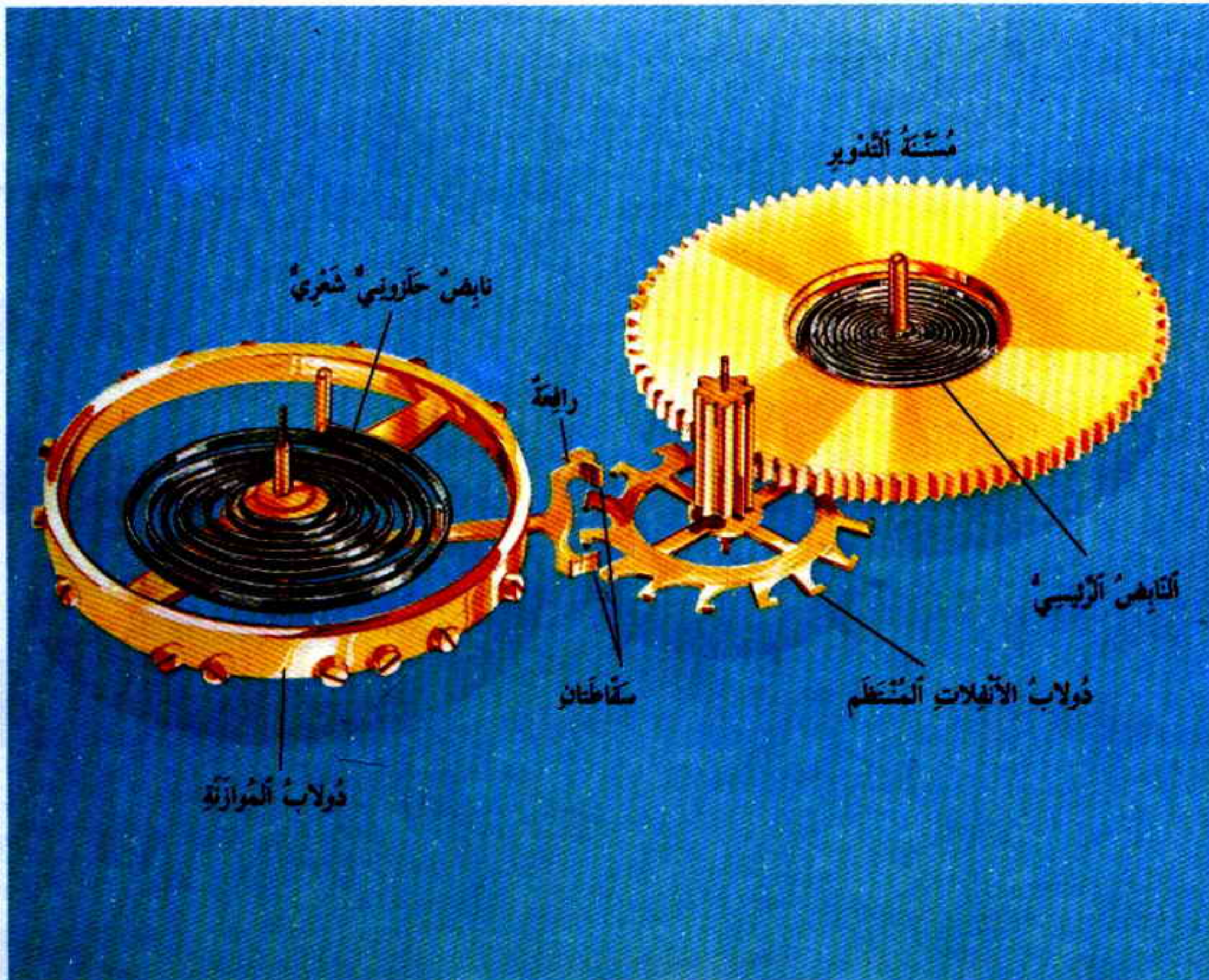
أَقْدَمُ ٱلْمَزاوِلِ ٱلْمَعْروفَةِ كانَتْ مِصْرِيَّةَ ٱلصُّنْعِ. وَخِلالَ ٱلْعُصورِ صُنِعَ ٱلْكَثيرُ مِنَ ٱلْمَزاوِلِ ٱلْجَميلَةِ. وَهٰذِهِ واحِدَةٌ صُنِعَتْ في بِدايَةِ ٱلْقَرْنِ ٱلثّامِنَ عَشَرَ وَهِيَ مَحفوظَةٌ في مُتْحَفِ ٱلْعُلومِ بِلَنْدَنَ.

إلى اليسار

بِٱسْتِطاعَتِكَ أَن تُثْبِتَ أَنَّ زَمَنَ تَرَدُّدِ (ذَبْذَبَةِ) ٱلْبَنْدولِ لا يَتَعَلَّقُ بِٱلْمَسافَةِ ٱلَّتي يَقْطَعُها. اِرْبِطْ وَزْنًا ما بِطَرَفِ خَيطٍ وَعَلِّقْهُ مِنْ خُطّافٍ إلى خَشَبَةٍ أُفُقِيَّةٍ. ثُمَّ ٱجْعَلْهُ يَتَرَدَّدُ بِلُطْفٍ وَقِسِ ٱلزَّمَنَ ٱللّازِمَ لِخَمْسِ تَرَدُّداتٍ، ثُمَّ قِسِ ٱلزَّمَنَ ٱللّازِمَ لِخَمْسِ تَرَدُّداتٍ أَوسَعَ مَدًى وَسَتُلاحِظُ أَنَّ ٱلزَّمَنَ هُوَ نَفْسُهُ. غَيِّرِ ٱلْوَزْنَ ٱلْمُعَلَّقَ وَلاحِظْ أَنَّ هٰذا أَيضًا لا يُغَيِّرُ زَمَنَ ٱلتَّرَدُّدِ. إنَّ ٱلَّذي يُحَدِّدُ زَمَنَ ٱلتَّرَدُّدِ هُوَ طُولُ ٱلْبَنْدولِ فَقَطْ. فَإِذا ما قَصَّرْتَ خَيطَ ٱلتَّعْليقِ يَقِلُّ زَمَنُ ٱلذَّبْذَبَةِ وَإِذا ما طَوَّلْتَهُ فَسَوفَ يَزْدادُ زَمَنُها.

فَوقُ

تَعْتَمِدُ كافَّةُ ٱلأَجْهِزَةِ ٱلْمُسْتَعْمَلَةِ لِقِياسِ ٱلْوَقْتِ عَلى عَمَلِيّاتٍ تَتِمُّ بِسُرعَةٍ ثابِتَةٍ. فَٱلسّاعَةُ ٱلرَّمْلِيَّةُ تَعْتَمِدُ عَلى سُقوطِ ٱلرَّمْلِ مِن خِلالِ ثُقْبٍ صَغيرٍ. أَمّا ٱلسّاعَةُ ٱلمائِيَّةُ فَتَعْتَمِدُ عَلى تَقَطُّرِ ٱلماءِ من مُسْتَوًى إلى مُسْتَوًى آخَرَ تَطْفو عَلَيهِ عَوّامَةٌ.

إلى ٱليَسارِ

في ٱلسّاعاتِ ٱلْيَدَوِيَّةِ وَساعاتِ ٱلْمَكْتَبِ ٱلصَّغيرَةِ يُسْتَبْدَلُ بِٱلنَّواسِ نابِضٌ حَلَزونِيٌّ شَعْرِيٌّ يُدَوِّرُ دولابَ مُوازَنَةٍ جَيْئَةً وَذَهابًا. إنَّ دُولابَ ٱلْمُوازَنَةِ يَظَلُّ في حَرَكَةٍ مُسْتَمِرَّةٍ بِتَأْثيرِ ٱلدَّفَعاتِ ٱلَّتي يَتَلَقّاها مِنَ ٱلنّابِضِ ٱلرَّئيسِيِّ بِواسِطَةِ دولابِ الأَنفِلاتِ ٱلْمُنْتَظَمِ. لَقَدِ ٱخْتُرِعَتْ هٰذِهِ ٱلآلِيَّةُ مُنْذُ ٢٠٠ سَنَةٍ وَلا تَزالُ تُسْتَعْمَلُ على نِطاقٍ واسِعٍ في تَشْغيلِ ٱلسّاعاتِ حَتّى ٱليَومِ.

البِدايَةُ ثانِيَةٌ واحِدَةٌ ثانِيَتانِ ٣ ثَوانٍ ٤ ثَوانٍ ٥ ثَوانٍ

١٥ مِترًا ١٥ مِترًا ١٥ مِترًا ١٥ مِترًا ١٥ مِترًا

اَلسُّرْعَةُ وَالتَّسارُعُ

إذا كانَتِ المَسافَةُ بينَ مَدينتينِ ١٠٠ كيلومترٍ وقامَتْ سَيّارتانِ في الوَقْتِ نَفْسِهِ لِقَطْعِ المَسافَةِ بين المَدينتَيْنِ وانْطَلَقَتِ الأُولى بِسُرْعَةِ ١٠٠ كيلومترٍ في السّاعَةِ (كم/سا) بَيْنَما تَسيرُ الثّانِيَةُ بِسُرْعَةِ ٥٠ كم/سا، فَمِنَ الواضِحِ أَنَّ السَّيّارَةَ الأَسْرَعَ سَوْفَ تَصِلُ قَبْلَ الأُخْرى.

وَعِنْدَما نَقولُ إنَّ سَيّارَةً ما تَسيرُ بِسُرْعَةِ ١٠٠ كم/سا، فَذٰلِكَ يَعْني أَنَّهُ يَلْزَمُها ساعَةٌ كامِلَةٌ لِقَطْعِ مَسافَةِ ١٠٠ كيلومتر، وَهِيَ المَسافَةُ بينَ المَدينَةِ الأُولى وَالمَدينَةِ الثّانِيَةِ. بَيْنَما يَلْزَمُ السَّيّارَةَ الثّانِيَةَ الّتي سُرْعَتُها ٥٠ كم/سا، ساعَتانِ لِقَطْعِ المَسافَةِ نَفْسِها. وَهٰذا هُوَ ما نَعْنيهِ بِقَوْلِنا إنَّ **سُرْعَةَ السَّيّارَةِ الأُولى تَفوقُ سُرْعَةَ السَّيّارَةِ الثّانِيَةِ.**

تَقيسُ السُّرْعَةُ المَسافَةَ الّتي يَجْتازُها جِسْمٌ ما في وَقْتٍ مُعَيَّنٍ، أَو بِمَعْنًى آخَرَ، سُرْعَةَ تَحَرُّكِهِ. وَهُناكَ وَحَداتٌ مُخْتَلِفَةٌ لِقِياسِ السُّرْعَةِ مِثْلُ ميل في السّاعَةِ وَمِتْرٍ في الثّانِيَةِ وَكيلومِتْر في السّاعَةِ.

إنَّ حِسابَ سُرْعَةِ جِسْمٍ مُتَحَرِّكٍ هُوَ أَمْرٌ سَهْلٌ. فإذا كانَتْ سَيّارَةٌ ما تَقْطَعُ ٢٠٠ كيلومِتْرٍ في أَرْبَعِ ساعاتٍ فإنّا نَجِدُ سُرْعَتَها بِقِسْمَةِ ٢٠٠ كيلومِتْر على أَرْبَعِ ساعاتٍ أي ٥٠ كيلومترًا في السّاعَةِ.

وَهكذا، فإنَّهُ يُمكِنُكَ حِسابُ مُتَوَسِّطِ السُّرْعَةِ لِأَيِّ سَفْرَةٍ تَقومُ بِها في سَيّارَةٍ. جِدْ مِقْدارَ الكيلومِتْراتِ المَقْطوعَةِ بِطَرْحِ قِراءَةِ عَدّادِ المَسافاتِ عِنْدَ القِيامِ مِنْ قِراءَتِهِ عِنْدَ الوُصولِ، وَاسْتَعِنْ بِساعَتِكَ لِتَحْديدِ الوَقْتِ أَوِ الزَّمَنِ. وَحَيْثُ إنَّ السُّرْعَةَ تُساوي المَسافَةَ مَقْسومَةً على الزَّمَنِ، اِقْسِمِ المَسافَةَ المَقْطوعَةَ عَلى الزَّمَنِ المَحْسوبِ فَتَحْصُلَ عَلى السُّرْعَةِ المَطْلوبَةِ. إنَّ قَطْعَ مَسافَةِ ٢٠٠ كيلومِتْر على طَريقٍ دَوْلِيٍّ واسِعٍ قَدْ يَسْتَغْرِقُ حَوالى ساعَتَيْنِ، فَيَكونُ مُتَوَسِّطُ السُّرْعَةِ ١٠٠ كم/سا. أَمّا في المَدينَةِ فَقَدْ لا تَسْتَطيعُ اجْتِيازَ أَكْثَرَ مِن ٣٠ كيلومِتْرًا في السّاعَةِ.

إنَّ مُراقَبَةَ مِقْياسِ السُّرْعَةِ خِلالَ سَفْرَةٍ ما تُبَيِّنُ لَكَ

فَوقُ

تَقيسُ السّاعَةُ الوَقْتَ اللّازِمَ لِهٰذِهِ السَّيّارَةِ لِتَقْطَعَ مسافَةً مُعَيَّنَةً. لَقَدْ قَطَعَتْ ١٥ مِترًا بَعْدَ مُرورِ ثانِيَةٍ ثُمَّ ١٥ مِترًا أُخرى بَعْدَ مُرورِ ثانِيَتَيْنِ مِمّا يَجْعَلُ المَسافَةَ المَقْطوعَةَ ٣٠ مِترًا. وَهٰكَذا نَرى أَنَّ السَّيّارَةَ تَقْطَعُ ١٥ مِترًا في الثّانِيَةِ. أَيْ أَنَّ سُرْعَتَها ثابِتَةٌ وَهِيَ ١٥ مِترًا في الثّانِيَةِ (أي ٥٤ كم/سا).

في الأَسْفَلِ

إنَّ السُّرْعَةَ الّتي تَنْطَلِقُ بِها الحَيواناتُ تَخْتَلِفُ كَثيرًا حَسَبَ أَنواعِها. فَالحَلَزونُ مَثَلًا يَسْتَطيعُ أَنْ يَجتازَ ميلّيمِترًا واحِدًا في الثّانِيَةِ (أَو حَوالى ٦ ، ٣أمتارٍ في السّاعَةِ). إنَّ أَسْرَعَ الحَيواناتِ الّتي تَعيشُ عَلى اليابِسَةِ هُوَ الفَهْدُ وَتُقَدَّرُ سُرْعَتُهُ بـ ٢٦ مِترًا في الثّانِيَةِ (أَو حَوالى ٩٤ كلم/سا) وَذٰلِكَ في المَسافاتِ القَصيرَةِ. وَالمَعروفُ أَنَّ سُرْعَةَ حِصانِ السِّباقِ قَد تَبْلُغُ ١٨ مترًا في الثّانِيَةِ (حَوالى ٦٥ كلم/سا). أَمّا بِالنِّسْبَةِ إلى الإنْسانِ، فإنَّ أَعلى سُرْعَةٍ مُسَجَّلَةٍ لَهُ حَتّى الآنَ تُقَدَّرُ بـ ٨ ، ١١ مِترًا في الثّانِيَةِ (ما يُقارِبُ ٤٢ كلم/سا) وَلكِنَّ هٰذِهِ السُّرْعَةَ لا يُمْكِنُ تَحقيقُها إلّا خِلالَ ثَوانٍ مَعْدوداتٍ. فَالعَدّاءُ الّذي يَقْطَعُ الميلَ (١٦١٠ أمتار) في ٤ دقائقَ يُحَقِّقُ سُرْعَةً مُعَدَّلُها ٢٤ كم/سا.

حَلَزون

رَجُلٌ

حِصانٌ

فَهْدٌ

البداية   ثانية واحدة   ثانيتان   ٣ ثوانٍ

ٱلتَّغَيُّرَ ٱلمُسْتَمِرَّ في سُرْعَةِ ٱلسَّيّارَةِ. فَقَدْ يُسَجِّلُ مُؤَشِّرُ ٱلمِقْياسِ حِينًا ١٠٠ كم/سا، و ٦٠ كم/سا حينًا آخَرَ، كما إنَّهُ قَدْ يُشيرُ إلى ٱلصِّفْرِ عِنْدَما يَتَعَرْقَلُ ٱلسَّيْرُ وَتَتَوَقَّفُ حَرَكَةُ ٱلمُرورِ. فَمِقْياسُ ٱلسُّرْعَةِ يَدُلُّ على سُرْعَةِ ٱلسَّيّارَةِ في كُلِّ لَحْظَةٍ. وَبِٱلطَّبْعِ تكونُ سُرْعَةُ ٱلسَّيّارَةِ خِلالَ ٱلرِّحْلَةِ ٱلكامِلَةِ مُساوِيَةً لِمُتَوَسِّطِ (أَو لِمُعَدَّلِ) ٱلسُّرْعَةِ، وَهُوَ طولُ ٱلمَسافَةِ مَقْسومًا على ٱلزَّمَنِ ٱلَّذي ٱسْتَغْرَقَتْهُ.

عِنْدَما تكونُ ٱلسَّيّارَةُ مُتَوَقِّفَةً فلا سُرْعَةَ لَها. وَعِنْدَما تَبْدأُ بِٱلتَّحَرُّكِ فَإنَّها تَنْتَقِلُ مِن سُرْعَةٍ إلى سُرْعَةٍ أَكْبَرَ. وَيُطْلَقُ على تَزايُدِ ٱلسُّرْعَةِ ٱسْمُ **ٱلتَّسارُعِ**. فَبِٱنْتِقالِ ٱلسَّيّارَةِ من سُرْعَةِ ٱلصِّفْرِ كم/سا إلى سُرْعَةِ ٨٠ كم/سا تكونُ قد تَسارَعَتْ. وَيُمْكِنُ لِسَيّارَةِ ٱلسِّباقِ مَثَلًا أَنْ تَنْتَقِلَ مِن سُرعةِ ٱلصِّفْرِ إلى سُرعةِ ١٠٠ كم/سا بِسُرعةٍ فائقَةٍ، بَيْنَما تَتَطَلَّبُ سَيّارَةٌ قَديمَةٌ فَتْرَةً أَطْوَلَ لِلْوُصولِ إلى تِلْكَ ٱلسُّرعَةِ. أيْ إنَّ تسارُعَ سَيّارَةِ ٱلسِّباقِ أكبَرُ. وَيُعَرَّفُ ٱلتَّسارُعُ بأَنَّهُ مُعَدَّلُ تَزايُدِ سُرْعَةِ جِسْمٍ ما في وَحْدَةِ ٱلزَّمَنِ. وَمَعْكوسُ ٱلتَّسارُعِ هُوَ **ٱلتَّقاصُرُ أَوِ ٱلتَّباطُؤُ** وَهُوَ مُعَدَّلُ تَناقُصِ سُرْعَةِ جِسْمٍ ما في وَحْدَةِ ٱلزَّمَنِ.

سونك «الصوتية» – ١

بلوبيرد «العُصْفورُ الأزرقُ»

في ٱلأَعلى

بَعْدَ أَنْ تُقْلِعَ هٰذِهِ ٱلسَّيّارَةُ بِثانِيَةٍ واحِدَةٍ تكونُ قَدْ قَطَعَتْ ٣ أمتارٍ. وبعدَ ثانيتَيْنِ تَقْطَعُ ٦ أمتارٍ أُخرى فَيُصْبِحُ ٱلمَجموعُ ٩ أمتارٍ. ثُمَّ تَقْطَعُ ١٢ مِترًا أُخرى بَعد مُرورِ ٱلثّانِيَةِ ٱلثّالِثَةِ فَيبلغُ ٱلمجموعُ ٢١ مِترًا. وَيُبَيِّنُ هٰذا (كما هُوَ واضِحٌ في ٱلرَّسْمِ) أَنَّهُ مَعَ مُرورِ ٱلوَقْتِ تَزْدادُ سُرْعَةُ ٱلسَّيّارَةِ أكثَرَ فَأَكْثَرَ، وَهٰذا ما يُسَمّى بِٱلتَّسارُعِ.

في أَقصى ٱليسارِ

إنَّ ٱلسُّرعةَ ٱلَّتي تسيرُ بِها ٱلسَّيّاراتُ تَختلفُ ٱخْتِلافًا كَبيرًا. وَتَتَراوَحُ ٱلسُّرْعَةُ ٱلقُصوَى لِغالبيَّةِ ٱلسَّيّاراتِ ٱلعادِيَّةِ بينَ ١١٢ و ١٦٠ كلم/سا. وفي عام ١٩٦٥ سَجَّلَتِ ٱلسَّيّارةُ «ٱلصَّوتِيَّةُ (سونك) – ١» ٱلمُسَيَّرَةُ بِمُحَرِّكٍ نَفّاثٍ سُرعَةً مِقْدارُها ٤، ٩٨٢ كلم/سا.

إلى ٱليسار

أَسرَعُ ٱلزَّوارِقِ عَلى ٱلإِطْلاقِ هُوَ ٱلزَّوْرَقُ ٱلمُسَمّى بلوبيرد (ٱلعُصْفورَ ٱلأزرقَ) ٱلَّذي قادَهُ دونالد كامبل بِسُرْعَةِ ٥٢٥ كلم/سا وذٰلِكَ عام ١٩٦٧. وَرافَقَ تَسْجيلَ هٰذا ٱلرَّقْمِ مَأساةٌ ٱنْتَهَتْ بِتَحَطُّمِ ٱلزَّوْرَقِ وَمَقْتَلِ سائِقِهِ.

اَلجاذِبِيَّةُ اَلْأَرْضِيَّةُ

إلى اليسار

تَشُدُّ الأرضُ الأجسامَ بِاتِّجاهِها بِفِعْلِ الجاذِبِيَّةِ الأَرْضِيَّةِ. وَاتِّجاهُ هٰذِهِ القُوَّةِ هُوَ دائمًا نَحْوَ مَرْكَزِ الأرضِ. وَهٰذا ما يُفَسِّرُ كَوْنَ الأَجْسامِ في النِّصْفِ الآخَرِ مِنَ الكُرَةِ الأَرْضِيَّةِ (أَوْ قُطْبَيْها) لا تَسْقُطُ مُبْتَعِدَةً عن هٰذِهِ الكُرَةِ.

إذا حَمَلْتَ طُوبَةً ثُمَّ تركتَها فإنَّها تَسقُطُ عَلى الأرضِ. فَما الَّذي يُؤَدّي إلى هٰذا السُّقوطِ؟ إنَّ الطُّوبةَ كَغَيْرِها مِنَ الأشياءِ لا تَتَحَرَّكُ جانِبِيًّا ما لَمْ تُدْفَعْ أَوْ تُجَرَّ كما إِنَّها لا تَتَحَرَّكُ إلى أعلى ما لَمْ تُقْذَفْ أَو تُسْحَبْ في ذٰلِكَ الاتِّجاهِ. فَحَقيقَةُ كَوْنِ جَميعِ الأَجْسامِ تَسْقُطُ تَعْني أَنَّهُ لا بُدَّ مِن وُجودِ قُوَّةٍ ما تَجْذِبُها إلى الأَرْضِ. وَبِاسْتِطاعَتِكَ الإحساسُ بِهٰذِهِ القُوَّةِ إذا حَمَلْتَ جِسْمًا ما بِيَدِكَ أَو إذا ما حاوَلْتَ رَفْعَهُ عن الأرضِ. هٰذِهِ القُوَّةُ تُسَمّى **الوَزْنَ**.

وَكانَ إسحٰق نيوتُنْ أَوَّلَ مَنِ اكْتَشَفَ أَسْرارَ سُقوطِ الأَجْسامِ وَثِقَلِها وَعَلاقَةَ جاذِبِيَّةِ الأَرْضِ بِذٰلِكَ. وَيُقالُ إِنَّهُ بَيْنَما كانَ نيوتُنْ جالِسًا في حَديقَةِ أُمِّهِ رأى تُفّاحَةً تَسْقُطُ مِن شَجَرَةٍ. فَأَخَذَ يُفكِّرُ في السَّبَبِ الَّذي يَجعَلُ التُّفّاحةَ تَسْقُطُ على هٰذا الشَّكْلِ. وَفَسَّرَ ذٰلِكَ بأنَّ كُلًّا مِنَ الأَرضِ وَالتُّفّاحَةِ يَتَجاذَبانِ فيما بَيْنَهُما. فَالأرضُ تَجذِبُ التُّفّاحَةَ وَالتُّفّاحَةُ تَجْذِبُ الأرضَ. لكنَّ ضَخامَةَ الأرضِ الهائلةَ تَجْعَلُها لا تَتأَثَّرُ بِجَذْبِ التُّفّاحَةِ لها، بَيْنَما التُّفّاحَةُ تَنْجَذِبُ أي تَسْقُطُ نَحوَ الأرْضِ. إنَّ هٰذِهِ القُوَّةَ الجاذِبَةَ لِلأَجْسامِ تُسَمّى **الجاذِبِيَّةَ الأَرْضِيَّةَ**. وَهِيَ القُوَّةُ الَّتي تَشُدُّ جَميعَ الأَجسامِ إلى سَطْحِ الأَرْضِ وَتُؤَدّي بِالتّالي إلى أنْ يكون لَها وَزْنٌ.

نيوتُن

في الأعلى

يُعْتَبَرُ إسحٰق نيوتُن (١٦٤٢ - ١٧٢٧) واحِدًا من أشهَرِ العُلَماءِ العِظامِ على مَرِّ العُصورِ. وُلِدَ في وولزثورب في مُقاطَعَةِ لينكولنشير بإنكلترا. وَدَرَسَ العُلومَ وَالرِّياضِيّاتِ في جامِعَةِ كمبريدج. مِنْ إنْجازاتِهِ المُهِمَّةِ بِالإضافَةِ إلى تَفْسيرِهِ لِلجاذِبِيَّةِ الأَرْضِيَّةِ اكْتِشافُهُ أَنَّ ضَوءَ الشَّمسِ مَزيجٌ من أَلوانِ قَوْسِ قُزَحَ. كما إنَّهُ صَنَعَ تِلِسكوبًا رأى بِواسِطَتِهِ أَقْمارَ المُشْتَري.

وَلَقَدْ تَحَقَّقَ نيوتُن أَيضًا مِن أنَّ قُوَّةَ الجاذِبِيَّةِ الأَرْضِيَّةِ تَتَناقَصُ بِابْتِعادِ الجِسْمِ عنِ الأرضِ. فَالشَّخصُ في طائرةٍ أو مُنطادٍ عالٍ لا يَزِنُ بِقَدْرِ ما يَزِنُ على الأرضِ لأنَّ شَدَّ الجاذِبِيَّةِ الأَرْضِيَّةِ لَهُ يكونُ أَضْعَفَ. وَنَحْنُ عادةً لا نُلاحِظُ هٰذا الفَرْقَ في الوَزْنِ لِضَآلَتِهِ في مِثْلِ هٰذِهِ الحالِ.

وَيُلاحِظُ رُوّادُ الفَضاءِ أنَّ شِدَّةَ الجاذِبِيَّةِ الأَرْضِيَّةِ تَضْعُفُ تدريجيًّا بِارْتِفاعِهِمْ في الفَضاءِ. حَتّى إنَّ أُولٰئِكَ الرُّوّادَ الَّذينَ يَذْهَبونَ بَعيدًا جدًّا في الفَضاءِ يَعيشونَ فَتَراتٍ تَطولُ أَوْ تَقصُرُ داخلَ كَبْسولَتِهِمِ الفَضائِيَّةِ في حالَةِ انْعِدامِ الوَزْنِ. وَيَعودُ السَّبَبُ في ذٰلِكَ جُزْئِيًّا إلى قِلَّةِ تأثيرِ الجاذِبِيَّةِ الأَرْضِيَّةِ عَلَيْهِمْ لِبُعْدِهِمْ عنِ الأرضِ (وَكَذٰلِكَ بِتأثيرِ القُوَّةِ النّاتِجَةِ عن دَورانِ سَفينَتِهِمْ بِسُرْعَةٍ حَوْلَ الأرضِ).

عِنْدَما تَنْطَلِقُ مَرْكَبَةٌ فَضائِيَّةٌ مِنَ الأرضِ إلى القمرِ تَخْرُجُ تدريجيًّا من مَجالِ جاذِبِيَّةِ الأرضِ لِتَدْخُلَ جاذِبِيَّةَ القمرِ، حَيثُ الجاذِبِيَّةُ أَضْعَفُ بِحوالى ٦ مَرّاتٍ. فَالرَّجُلُ الَّذي يَزِنُ ٧٢ كيلوغرامًا على سَطْحِ الأرضِ لا يَزِنُ أَكثرَ من ١٢ كيلوغرامًا على سَطحِ القَمرِ. وَهٰذا ما يُمَكِّنُهُ من رَمْيِ الأَجْسامِ إلى مَسافَةٍ أَبْعَدَ وَمِنَ القَفْزِ إلى عُلُوٍّ أَكْبَرَ.

وَيَتَعَلَّقُ وَزْنُ الأَجْسامِ أَيضًا بِعامِلَيْنِ أَساسِيَّيْنِ هُما حَجمُ الجِسْمِ وَنَوعُ المادَّةِ الَّتي يَتَأَلَّفُ مِنها. وَالسُّؤالُ اللُّغْزُ الَّذي يُطْرَحُ كثيرًا، هُوَ: أَيُّهُما يَزِنُ أَكْثَرَ كيلوغرام مِنَ الرّيشِ أَم كيلوغرام مِنَ الرَّصاصِ؟ كَثيرونَ هُمُ الَّذينَ يُجيبونَ دُونَ تَفكيرٍ بِأَنَّ كيلوغرام الرَّصاصِ يَزِنُ أَكْثَرَ.

٧٠٠٠ متر

جاذِبِيَّةٌ صِفْرِيَّةٌ جـ = ٠
٢٥ إلى ٣٠ ثانية

٦٠٠٠ متر

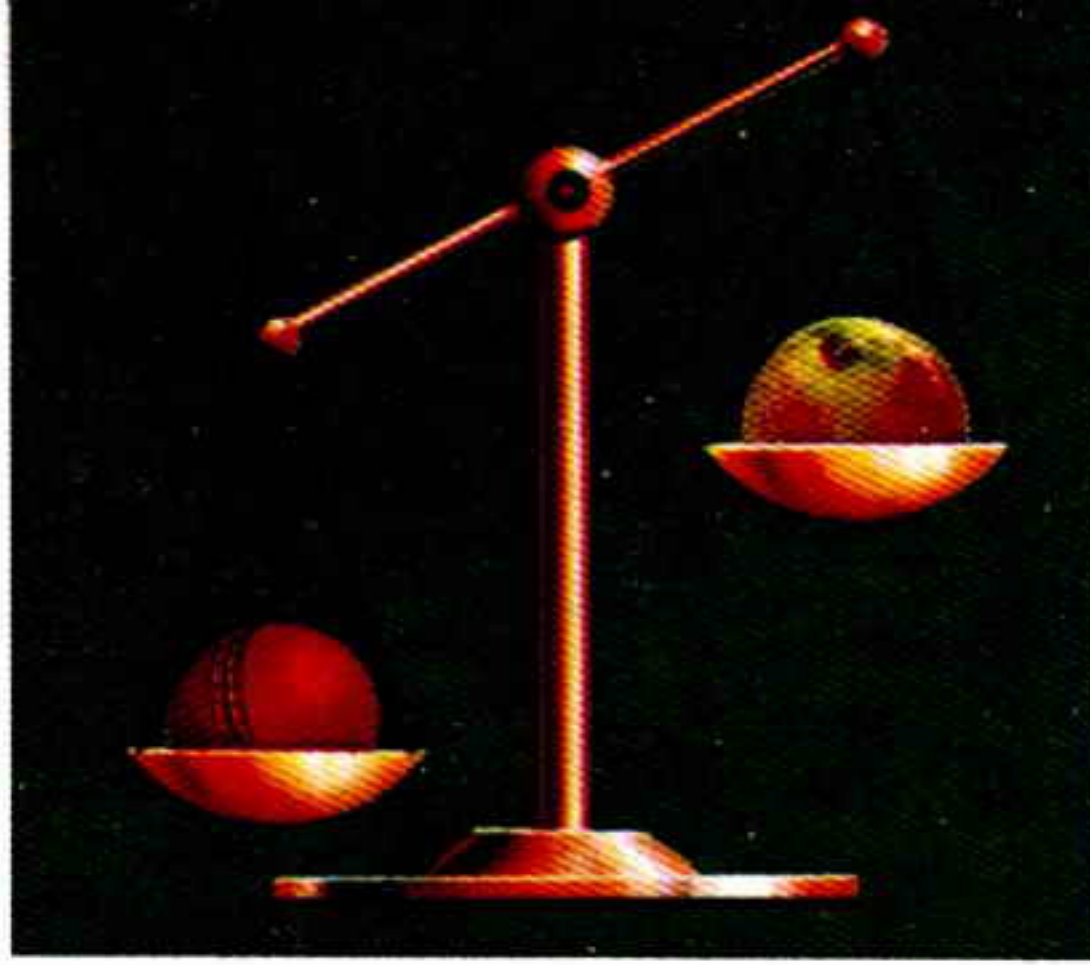
٥٠٠٠ متر

جـ ٢ · جـ ١ · جـ ١,٥ · جـ ١ · جـ ٢

إلى اليسار

يُمكِنُ الحُصولُ على مَجالٍ صِفْرِيِّ الجاذِبِيَّةِ (حَيثُ جـ = ٠) تَتَحَقَّقُ فيه حالَةُ انْعِدامِ الوَزْنِ لِبِضْعِ ثَوانٍ بِتَسْييرِ طائرةٍ في مَسارٍ قَذيفِيٍّ (بالِستي). وَتَتَضَمَّنُ تدريباتُ رُوّادِ الفَضاءِ رِحْلاتٍ كَهٰذِهِ لِاخْتِبارِ حالاتِ انْعِدامِ الوَزْنِ. وَعلى الرّائِدِ في هٰذِهِ الحالَةِ أَن يَطيرَ أَوْ أَنْ يَسْبَحَ لِلتَّنَقُّلِ داخِلَ كَبْسولَتِهِ.

إلى اليمين

تزنُ كُرةُ الكريكيت أكثرَ من التُّفاحةِ لأنَّها تحتوي على كميَّةٍ أكبر من المادّةِ . أي إنَّ كُتلتَها أكبرُ من كُتلةِ التُّفاحةِ . في مَجالٍ صِفريٍّ الجاذبيّةِ ينعدِمُ وزنُ الكُرةِ ولكنَّ كُتلتَها تبقى هي ذاتُها . وهُنا يكمنُ الفرقُ بينَ الوزنِ والكُتلةِ . فالوزنُ هوَ قوَّةُ جذبٍ تتغيَّرُ من مكانٍ إلى آخرَ ، أمّا الكُتلةُ فهيَ كميَّةُ المادَّةِ المُحتواةِ في جِسمٍ ما وهي ثابتةٌ لا تتغيَّرُ .

إلى أقصى اليمين

عندَما نبتعِدُ عن سَطحِ الأرضِ يضعُفُ تأثيرُ الجاذبيَّةِ الأرضيَّةِ ويقِلُّ بالتالي وزنُ الجِسمِ .

كيلوغرامات	كيلومترات
٦	٢٠٠٠٠
٨	١٥٠٠٠
١٤	١٠٠٠٠
٣١	٥٠٠٠
٣٦	٤٠٠٠
٤٦	٣٠٠٠
٥٧	٢٠٠٠
٧٥	١٠٠٠
١٠٠	

والحقيقةُ أنَّ الوزنَيْنِ مُتساويانِ تمامًا . ولكنَّ المُتسرِّعينَ في الإجابةِ ينخدِعونَ بحقيقةِ أنَّ الرِّيشَ أخفُّ من الرَّصاصِ . كذلكَ إذا ما حملْتَ كُرةَ الكريكيت بإحدى يديْكَ ، وتُفَّاحةً منَ الحجْمِ نفسِهِ باليدِ الأخرى ، تُلاحِظُ أنَّ كُرةَ الكريكيت أثْقلُ . ويعودُ ذلكَ إلى أنَّ المادَّةَ في كُرةِ الكريكيت أكْثرُ تراصًّا وأشدُّ تماسُكًا من مادَّةِ التُّفّاحةِ . ويُعبِّرُ الفيزيائيُّونَ عنْ ذلكَ بقولِهِمْ إنَّ لِكُرةِ الكريكيت **كثافةً** أعلى مِن كثافةِ التُّفّاحةِ ، وإنَّ الرَّصاصَ أعلى كثافةً منَ الرِّيشِ .

إنَّ الكمِّيَّةَ الكُلِّيَّةَ للمادَّةِ في أيِّ جِسْمٍ تُسمَّى **الكُتْلةَ** . وعليْهِ فإنَّهُ يُمْكِنُ القولُ بأنَّ كُتلةَ كُرةِ الكريكيت أكبرُ من كُتلةِ التُّفّاحةِ بالرَّغْمِ مِنْ أنَّ لها نفْسَ الحجْمِ تقْريبًا . كذلكَ تساوي الكُتْلةَ في لُغْزِ الرِّيشِ والرصاصِ لكنَّ حجْمَ كُومةِ الرِّيشِ أكبرُ بِكثيرٍ طبْعًا من حجْمِ قِطْعةِ الرَّصاصِ .

إلى أسفل

يقيسُ الميزانُ الزُّنْبرَكيُّ وزنَ الأجسامِ ، أيْ شدَّ الجاذبيَّةِ الأرضيَّةِ لها ، ويتناسبُ تمدُّدُ الزُّنبرَكِ (النابضِ) معَ وزنِ الحمولةِ المُعلَّقةِ فيهِ . أمّا الميزانُ ذو الكِفَّتيْنِ فيُقارِنُ كُتلَتَيْ جِسْميْنِ مُختلِفَيْنِ لأنَّ شدَّ الجاذبيَّةِ مُتساوٍ على جانبَيِ الميزانِ .

تُقدَّرُ قوَّةُ الجاذبيَّةِ على سَطحِ القمرِ بِسُدسِ الجاذبيَّةِ على سطحِ الأرضِ ، فباستِعْمالِ الميزانِ الزُّنبرَكيِّ هُناكَ يزِنُ الجِسمُ سُدْسَ وزْنِهِ على الأرضِ فقطْ . لكنَّكَ لن تكْتشِفَ ذلكَ بواسِطةِ الميزانِ ذي الكِفَّتيْنِ لأنَّهُ يزِنُ بالمُقارنةِ بينَ كُتَلٍ مُتساويةٍ .

اَلدَّوَرانُ

إذا دَوَّمت قِطْعَةً مَعْدِنِيَّةً مِنَ ٱلنُّقودِ فَوقَ ٱلطَّاوِلَةِ فإنَّها تَتَّخذُ شكْلَيْنِ مِنَ ٱلدَّوَرانِ : أَوَّلُـهُما في مَداراتٍ فَوقَ سَطحِ ٱلطَّاوِلَةِ ، وَٱلثَّاني دَورانُ ٱلقِطْعَةِ حَوْلَ مِحْوَرِها ٱلذَّاتِيِّ . كَذٰلِكَ عِنْدَما تَنْطَلِقُ كُرَةُ ٱلغولْفِ في ٱلهَواءِ وَهِيَ في مَسارِها ٱلمَقْذوفِ تَدورُ حَولَ نَفْسِها فَتُغَيِّرُ نَوعًا من مَجْرى مَسارِها .

تَتَمَيَّزُ ٱلأَجْسامُ ٱلمُدَوَّمَةُ بِخَصائصَ مُحَدَّدَةٍ ، أَهَمُّها أنَّ هٰذِهِ ٱلأَجْسامَ تَميلُ إلى مُقاوَمَةِ كُلِّ ما يُحاوِلُ تَغْييرَ ٱتِّجاهِ دَورانِها . وَيُمْكِنُ تَوْضيحُ ذٰلِكَ بِٱخْتِبارٍ بَسيطٍ عَلى ٱلعَجَلَةِ ٱلأَمامِيَّةِ لِدَرّاجَةٍ . اِرْفَعْ مُقَدِّمَةَ ٱلدَّرّاجَةِ وَدَوِّرِ ٱلعَجَلَةَ بِشِدَّةٍ . إنَّكَ إذا ما حاوَلْتَ ٱلآنَ تَحريكَ مِقْوَدِ ٱلدَّرّاجةِ مِنْ جِهَةٍ إلى ٱلجِهَةِ ٱلأُخرى تَشْعُرُ بِقُوَّةِ ٱلمُقاوَمَةِ تِلْكَ . هٰذِهِ ٱلقُوَّةُ هِيَ عَطالَةُ ٱلعَجَلَةِ ، وَهِيَ تُقاوِمُ تَغْييرَ ٱتِّجاهِ مِحْوَرِ ٱلدَّورانِ ٱلَّذي هُوَ هُنا مِحْوَرُ ٱلعَجَلَةِ نَفْسِها . وَتُكْسِبُ هٰذِهِ ٱلعَطالَةُ ٱلعَجَلَةَ ثَباتًا يُعْرَفُ بِٱلعَطالَةِ ٱلجيروسكوبِيَّةِ .

وَٱلجيروسكوب عِبارَةٌ عَنْ دولابٍ صَغيرٍ ثَقيلٍ مُرَكَّبٍ في حامِلٍ يَسْمَحُ لَهُ بِٱلدَّورانِ حَوْلَ أَيِّ مِحْوَرٍ . وَهٰذا ٱلنَّوْعُ مِنَ ٱلتَّرْكيبِ هُوَ **ٱلتَّرْكيبُ ٱلعامُّ ٱلحَرَكَةِ** . وَيُحافِظُ دُولابُ ٱلجيروسكوب عَلى ٱلدَّورانِ دائمًا في ٱتِّجاهِ ٱلدَّورانِ ٱلَّذي بَدأَ بِهِ .

وَتَعْمَلُ **ٱلبوصَلَةُ ٱلجيروسكوبِيَّةُ** ٱلَّتي تُسْتَخْدَمُ في ٱلطّائراتِ وَٱلسُّفُنِ عَلى مَبْدأِ ٱلجيروسكوب . وَهِيَ تَتَأَلَّفُ مِن دُولابٍ يَدورُ كَهْرَبائيًّا بِٱسْتِمْرارٍ وَمِنْ بُوصَلَةٍ مُرَكَّبَةٍ فَوْقَهُ . إنَّ دُولابَ ٱلجيروسكوب ٱلمُدَوَّمَ لا يَتَأَثَّرُ ، بِفِعْلِ عَطالَتِهِ ، بِٱلحَرَكاتِ ٱلمُخْتَلِفَةِ لِلسَّفينَةِ ، وَيَدُلُّ بِٱلتّالي

فَوقُ

ثَبِّتِ ٱلدَّرّاجَةَ رافِعًا عَجَلَتَها ٱلأَمامِيَّةَ بِحَيْثُ لا تَميلُ إلى أَحَدِ ٱلجانِبَيْنِ ، ثُمَّ ٱبْرُمِ ٱلعَجَلَةَ ٱلأَمامِيَّةَ بِشِدَّةٍ وَحاوِلْ أَنْ تُغَيِّرَ ٱتِّجاهَ مِحْوَرِ ٱلدَّورانِ . إنَّ عَطالَةَ ٱلعَجَلَةِ تُقاوِمُ مُحاوَلَتَكَ ، وَيَبْدُو ذٰلِكَ في صُعوبَةِ تَحْريكِ ٱلمِقْوَدِ .

فَوقُ إلى ٱليَسارِ

يُمكِنُكَ صُنْعُ دُوّامَةٍ صَغيرَةٍ وَذٰلِكَ بِشَفِّ مُحيطِ قِطْعَةِ نُقودٍ على وَرَقٍ سَميكٍ . قُصَّ ٱلشَّكْلَ ٱلدّائرِيَّ وٱجْعَلْ في وَسَطِهِ ثَقْبًا صَغيرًا . أَدْخِلْ في ٱلثَّقْبِ عُودَ ثِقابٍ مَبْرِيَّ ٱلطَّرَفِ . اِفْتِلْ هٰذِهِ ٱلدُّوّامَةَ فَوقَ سَطْحِ ٱلطّاوِلَةِ أَوْ أَيِّ جِسْمٍ أَمْلَسَ . أُرْسُمْ أَشكالاً مُخْتَلِفَةً عَلَيها وَلاحِظْ كَيفَ تَبْدو خِلالَ دَورانِ ٱلدُّوّامَةِ .

إلى اليسارِ

عِنْدَما تَبْرُمُ ٱلدُّوّامَةُ بِسُرْعَةٍ فإنَّ عُودَها (مِحْوَرَها) يَدورُ شاقوليًّا . وَبِٱنْخِفاضِ سُرعَةِ ٱلدَّورانِ يَميلُ ٱلعُودُ جانِبِيًّا وَيَرْسُمُ بِحَرَكَتِهِ شَكْلَ مَخْروطٍ . وَحينَ تُشْرِفُ ٱلدُّوّامَةُ عَلى ٱلوُقوفِ وَتَمَسُّ حَوافُّها ٱلأَرضَ فإنَّها تَتَدَحْرَجُ قَليلاً في ٱلاتِّجاهِ ٱلمُعاكِسِ .

في ٱلأسفلِ

تَسْتَعْمِلُ بَعْضُ ٱلسُّفُنِ ٱلمُوازِنَ ٱلجيروسكوبِيَّ . إنَّ ٱلجيروسكوب ٱلثَّقيلَ ٱلمُثَبَّتَ في هَيْكَلِ ٱلسَّفينَةِ يَعْمَلُ عَلى مُضاءَلَةِ حَرَكَةِ ٱلعُطوفِ في ٱلسَّفينَةِ .

عَلَى ٱلشَّمالِ ٱلحقيقِيِّ دائمًا .

وَثَمَّةَ آلَةٌ مُشابِهَةٌ هِيَ جِهازُ ٱلقِيادَةِ ٱلجيروسْكوبِيُّ ٱلمُسْتَخْدَمُ في ٱلتَّوجيهِ ٱلأوتوماتيكِيِّ لِلمَرْكَباتِ . فتُعايِرُ آلِيَّةُ ٱلجهازِ في الاتِّجاهِ ٱلمحَدَّدِ لِلطّائِرَةِ أَوِ ٱلسَّفينَةِ . وَأَيُّ تَغَيُّرٍ في الاتِّجاهِ يَكْشِفُهُ جِهازُ ٱلقِيادَةِ ٱلجيروسْكوبِيُّ ٱلَّذي يَظَلُّ يُشيرُ إلى الاتِّجاهِ ٱلأَصْلِيِّ . وَيَبْعَثُ ٱلجِهازُ تِلْقائِيًّا بِرِسالَةٍ إلى مُحَرِّكِ ٱلتَّحَكُّمِ في ٱلدَّفَّةِ فَيُعيدُها هٰذا إلى مَسارِها ٱلمُحَدَّدِ .

وَيُطْلَقُ عَلَى هٰذِهِ ٱلخاصَّةِ لِلأَجْسامِ ٱلمُدَوَّمَةِ ٱسْمُ ٱلمُوازَنَةِ ٱلتَّدْويمِيَّةِ . فَٱلقُرْصُ ٱلطّائِرُ يُقْذَفُ مُدَوَّمًا مِمّا يُمكِّنُهُ مِنَ ٱلبَقاءِ مُتَوازِنًا أُفُقِيًّا في ٱلهَواءِ ، وَإلّا لَما ٱسْتَطاعَ ٱلبَقاءَ طائِرًا لِيَقْطَعَ مَسافَةً طَويلَةً .

وَلَعَلَّكَ شاهَدْتَ لاعِبِي ٱلسِّيرْكِ وَهُمْ يَقومونَ بِتَدْويرِ ٱلصُّحونِ عَلى رُؤوسِ عِصِيٍّ طَويلَةٍ . إنَّ هٰذِهِ ٱلصُّحونَ تَبْقى مُتَوازِنَةً وَمُسْتَقِرَّةً أُفُقِيًّا بِفِعْلِ تَدْويمِها وَتَميلُ إلى عَدَمِ تَغْييرِ ٱتِّجاهِ مِحْوَرِ دَوَرانِها . لكِنْ عِنْدَما تَبْدَأُ سُرْعَةُ دَوَرانِها بِٱلتَّناقُصِ ، يَتَضاءَلُ تَوازُنُها وَتَسْقُطُ بِٱلتّالي مِن فَوقِ رُؤوسِ ٱلعِصِيِّ . وَتَنْحَصِرُ مَهارَةُ لاعِبِ ٱلسِّيرْكِ بِتَحْريكِ ٱلعِصِيِّ بِشَكْلٍ يَضْمَنُ ٱسْتِمرارَ دَوَرانِ ٱلصُّحونِ . وَلِلسَّبَبِ نَفْسِهِ تَبْقى ٱلدُّوّامَةُ (ٱلخُذْروفِيَّةُ) مُتَوازِنَةً وَهِيَ تَدورُ فَوقَ سِنِّها .

وَتُدَوِّمُ ٱلكُرَةُ ٱلأَرْضِيَّةُ أَيضًا حَوْلَ مِحْوَرِها . وَهٰذا ما يُبْقي مِحْوَرَها دائِمًا في الاتِّجاهِ نَفْسِهِ في ٱلفَضاءِ ، تَمامًا كَما يُبْقي تَدْويمُ ٱلجيروسْكوبِ ٱلبُوصَلَةَ في الاتِّجاهِ ٱلأَصْلِيِّ نَفْسِهِ .

فوق

يَتَأَلَّفُ مُبَيِّنُ مُعَدَّلِ ٱلدَّوَرانِ في ٱلطّائِرَةِ مِنْ جيروسكوب مَحْمولٍ عَلَى ذاتِ ٱلمِحْوَرَيْنِ ٱلمُثَبَّتَةِ بِدَوْرِها بِٱلنَّوابِضِ ، فَعِنْدَما تَدورُ ٱلطّائِرَةُ يَدورُ ٱلجيروسكوب مَعَها ضِدَّ عَطالَةِ دَوَرانِهِ . وَكُلَّما زادَ مُعَدَّلُ ٱلدَّوَرانِ كَبُرَتْ هٰذِهِ ٱلقُوَّةُ ٱلمُضادَّةُ ٱلَّتي يُمْكِنُ تَسْجيلُها عَلى مِقْياسٍ يُبَيِّنُ مُعَدَّلَ ٱلدَّوَرانِ .

فَوقُ إلى ٱليَمينِ

يُدَوَّمُ هٰذا ٱلجيروسكوب ٱلدُّمْيَةُ بِخَيْطٍ يُلَفُّ حَوْلَ مِحْوَرِهِ ثُمَّ يُشَدُّ بِقُوَّةٍ . وَلَهُ ٱلخَصائِصُ نَفْسُها كَجيروسكوباتِ ٱلسُّفُنِ ٱلكَبيرَةِ .

إلى ٱليمين

لِهٰذا ٱلجيروسكوب ثَلاثُ دَرَجاتٍ مِنْ حُرِّيَّةِ ٱلحَرَكَةِ . فَٱلقُرْصُ يَدورُ حَوْلَ مِحْوَرٍ عَموديٍّ مُعَلَّقٍ بِدَوْرِهِ بِحَيْثُ يَتَسَنّى لَهُ ٱلدَّوَرانُ حَوْلَ مِحْوَرٍ أُفُقِيٍّ .
وَيَدورُ ٱلإطارُ ٱلخارِجِيُّ كُلُّهُ حَوْلَ مِحْوَرٍ أُفُقِيٍّ يُشَكِّلُ زاوِيَةً قائِمَةً مَعَ ٱلمِحْوَرَيْنِ ٱلسّابِقَيْنِ . إنَّ لِلتَّرْكيباتِ ٱلجيروسكوبِيَّةِ ٱسْتِعْمالاتٍ عَديدَةً في جَميعِ أَنْواعِ ٱلمَرْكَباتِ ، سُفُنًا كانَتْ أَو طائِراتٍ صاروخِيَّةً .

القُوَّةُ النابِذَةُ

إذا ما أَدَرْتَ دَلْوًا مَمْلوءًا بِالْماءِ من فَوقِ رَأْسِكَ بِسُرْعَةٍ كافِيَةٍ فإنَّ الماءَ لَن يَنْدَلِقَ مِنْهُ. فَعِنْدَ تَدْويرِ جِسْمٍ ما في مَسارٍ دائِرِيٍّ تُؤَثِّرُ عَلَيْهِ قُوَّةٌ تَطْرُدُهُ بَعيدًا عَن مَرْكَزِ دائِرَةِ التَّدْويرِ فَيَبْدو الجِسْمُ وَكَأَنَّهُ يَميلُ إلى مُتابَعَةِ سَيْرِهِ في خَطٍّ مُسْتَقيمٍ. وَتَعْتَمِدُ شِدَّةُ هٰذِهِ القُوَّةِ طَرْدِيًّا على السُّرْعَةِ الَّتي يُدَوَّرُ بِها الجِسْمُ. وَهكذا فإنَّ دَلْوَ الماءِ الَّذي يُدَوَّرُ بِسُرْعَةٍ كافِيَةٍ يَتَعَرَّضُ لِقُوَّةِ طَرْدٍ مَرْكَزِيٍّ تَرْفَعُ الماءَ نَحْوَ قاعِ الدَّلْوِ. فإذا كانَتْ هٰذِهِ القُوَّةُ، في اللَّحْظَةِ الَّتي يَكونُ فيها الدَّلْوُ فوقَ رَأْسِكَ، أَكْبَرَ من وَزْنِ الماءِ نَفْسِهِ فإنَّ هٰذا الماءَ لَنْ يَسْقُطَ مِنَ الدَّلْوِ. يُطْلَقُ عَلى هٰذِهِ القُوَّةِ الطّارِدَةِ مِنَ المَرْكَزِ اسْمُ **القُوَّةِ النّابِذَةِ**. وهِيَ مُساوِيَةٌ من حَيْثُ القيمَةُ **لِلقُوَّةِ الجاذِبَةِ**، ومُخالِفَةٌ لَها في الاتِّجاهِ. **فَالقُوَّةُ الجاذِبَةُ** هِيَ تِلْكَ القُوَّةُ الَّتي تَشُدُّ أو تَجْذِبُ الجِسْمَ المُدارَ نَحْوَ مَرْكَزِ التَّدْويرِ. فَلَوْلا فِعْلُ هٰذِهِ القُوَّةِ لَكانَ الدَّلْوُ يَنْطَلِقُ بَعيدًا في خَطٍّ مُسْتَقيمٍ. فَقُوَّةُ الشَّدِّ الَّتي تَبْذُلُها ذِراعُكَ لِمَنْعِ انْطِلاقِ الدَّلْوِ هِيَ القُوَّةُ الجاذِبَةُ. أَمّا القُوَّةُ الَّتي تَمْنَعُ ماءَ الدَّلْوِ مِنَ السُّقوطِ وَتَشُدُّ الدَّلْوَ بَعيدًا عَن مَرْكَزِ التَّدْويرِ فَهِيَ القُوَّةُ النّابِذَةُ.

وَإذا ما أَدَرْتَ الدَّلْوَ بِبُطْءٍ (أي إذا خَفَّضْتَ سُرْعَةَ الدَّوَرانِ) تَقِلُّ قُوَّةُ طَرْدِ الماءِ بَعيدًا عَنْ مَرْكَزِ التَّدْويرِ (القُوَّةِ النّابِذَةِ). فإذا قَلَّتِ القُوَّةُ عن وَزْنِ الماءِ في الدَّلْوِ، فإنَّ الماءَ يَنْدَلِقُ ساقِطًا مِنْهُ، وَيُرافِقُ هذا التَّخْفيضَ انْخِفاضٌ مَحْسوسٌ في قُوَّةِ الشَّدِّ في ذِراعِكَ (أيْ في القُوَّةِ الجاذِبَةِ).

إنَّ القُوَّةَ النّابِذَةَ هِيَ الَّتي تُوازِنُ قُوَّةَ الجاذِبِيَّةِ في المَجْموعَةِ الشَّمْسِيَّةِ. فَالأَرْضُ وَالشَّمْسُ تَتَجاذَبانِ بِقُوَّةٍ عَظيمَةٍ نَظَرًا لِعِظَمِ كُتْلَتَيْهِما (انْظُرْ صَفْحَةَ ٦٠) وَلكِنَّ القُوَّةَ النّابِذَةَ النّاتِجَةَ عَن دَوَرانِ الأَرْضِ حَوْلَ الشَّمْسِ تُقاوِمُ هٰذا التَجاذُبَ وَتُعادِلُهُ. وَكَذٰلِكَ هِيَ الحالُ في الكَواكِبِ السَّيّارَةِ الأُخرى في المَجْموعَةِ الشَّمْسِيَّةِ. فَالقُوَّةُ النّابِذَةُ النّاتِجَةُ عَنْ دَوَرانِ الكَوكَبِ حَولَ الشَّمْسِ تُضادُّ وَتُعادِلُ القُوَّةَ الجاذِبَةَ النّاتِجَةَ عن تَجاذُبِ الكَواكِبِ مَعَ الشَّمْسِ. وَبِما أَنَّ الكَواكِبَ تَسيرُ في الفَضاءِ حَيْثُ لا هَواءَ يُعيقُ حَرَكَتَها فَهِيَ سَتَسْتَمِرُّ في دَوَرانِها دُونَ تَوَقُّفٍ إلى ما شاءَ اللهُ.

وَيَنْطَبِقُ المَبْدَأُ نَفْسُهُ على دَوَرانِ القَمَرِ وَالتَّوابِعِ الاصْطِناعِيَّةِ حَوْلَ الأَرْضِ، فَالقُوَّةُ النّابِذَةُ النّاتِجَةُ عن دَوَرانِ القَمَرِ أَوِ التّابِعِ حَوْلَ الأَرْضِ تُضادُّ وَتُعادِلُ قُوَّةَ التَّجاذُبِ بَيْنَهُما.

إنَّكَ تَشْعُرُ بِالقُوَّةِ النّابِذَةِ تَدْفَعُكَ بَعيدًا عن مَرْكَزِ المُنْعَطَفِ الَّذي تَلُفُّهُ السَّيّارَةُ بِسُرْعَةٍ، أو عَلى الأَرْجوحَةِ الكَهْرَبائِيَّةِ الدَّوّارَةِ في مَدينَةِ المَلاهي. وَتَكونُ القُوَّةُ النّابِذَةُ عَلى الأُرْجوحَةِ الدَّوّارَةِ أَكْبَرَ بِكَثيرٍ نَظَرًا لِصِغَرِ الدّائِرَةِ مِمّا يَقْتَضيكَ التَّمَسُّكَ بِشِدَّةٍ لِلثَّباتِ في مَكانِكَ. وَفي لُعْبَةِ جِدارِ المَوْتِ، حَيْثُ يَدورُ اللّاعِبُ بِدَرّاجَتِهِ النّارِيَّةِ عَلى جَوانِبِ بِئْرٍ أُسْطُوانِيَّةٍ، تَطْبيقٌ آخَرُ عَلى الظّاهِرَةِ نَفْسِها. فَالقُوَّةُ النّابِذَةُ النّاتِجَةُ عَنْ سُرْعَةِ دَوَرانِ الدَّرّاجَةِ وَالَّتي تَشُدُّ الدَّرّاجَةَ وراكِبَها نَحْوَ جِدارِ البِئْرِ، كافِيَةٌ لِمَنْعِ سُقوطِها بِفِعْلِ الجاذِبِيَّةِ الأَرْضِيَّةِ.

فوق وإلى اليمين

مِرَشَّةُ الماءِ الدَّوّارَةُ وَالدُّولابُ الدَّوّارُ لِلأَلْعابِ النّارِيَّةِ هُما مَشْهَدانِ مَألوفانِ لِأَمْثِلَةٍ مِنَ القُوَّةِ النّابِذَةِ المُسَبِّبَةِ تَطايُرَ رَشاشٍ دَقيقٍ مِنَ المادَّةِ بَعيدًا عَنْ مَرْكَزِ الدَّوَرانِ مُتَّخِذًا شَكْلَ قُرْصٍ.

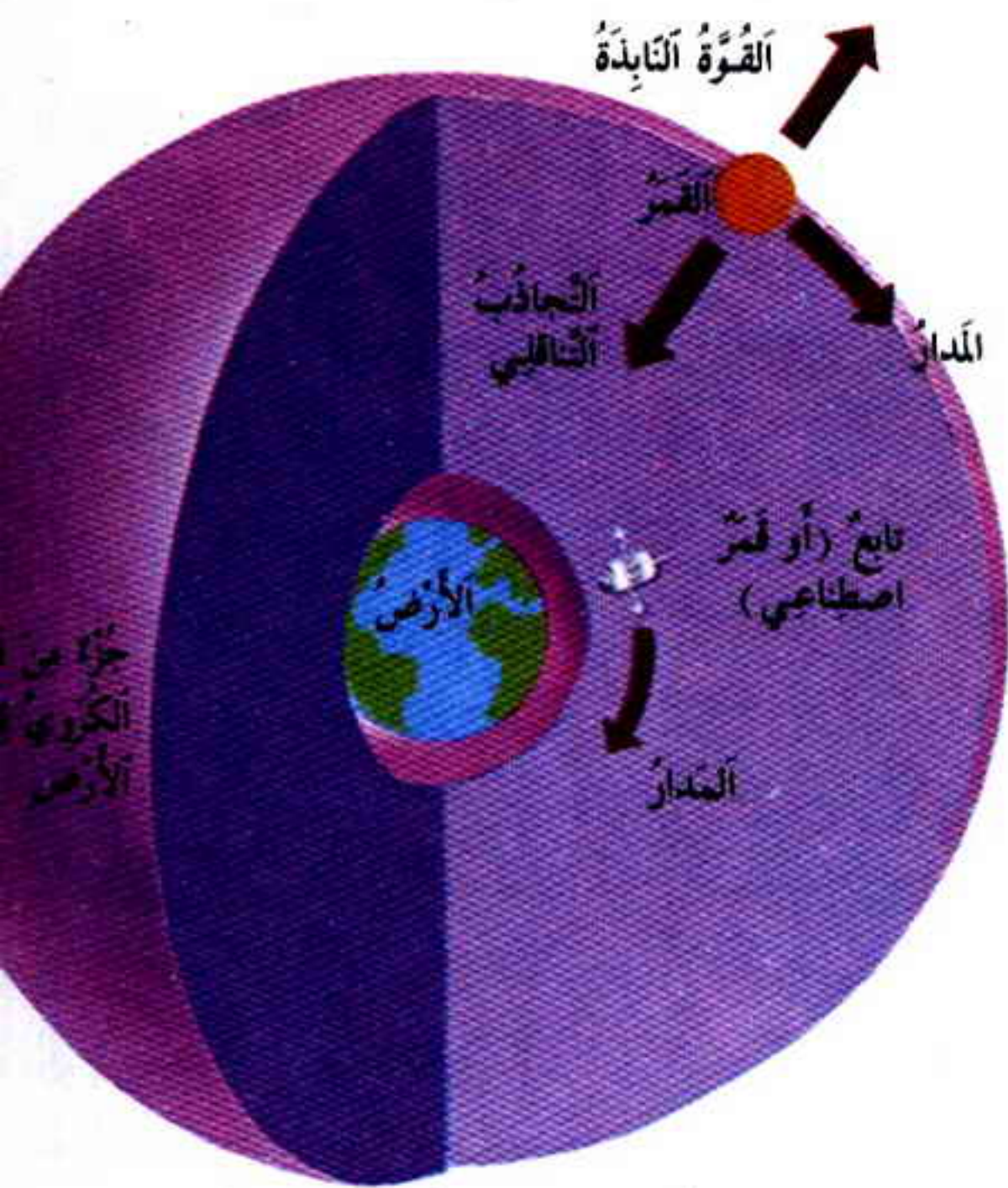
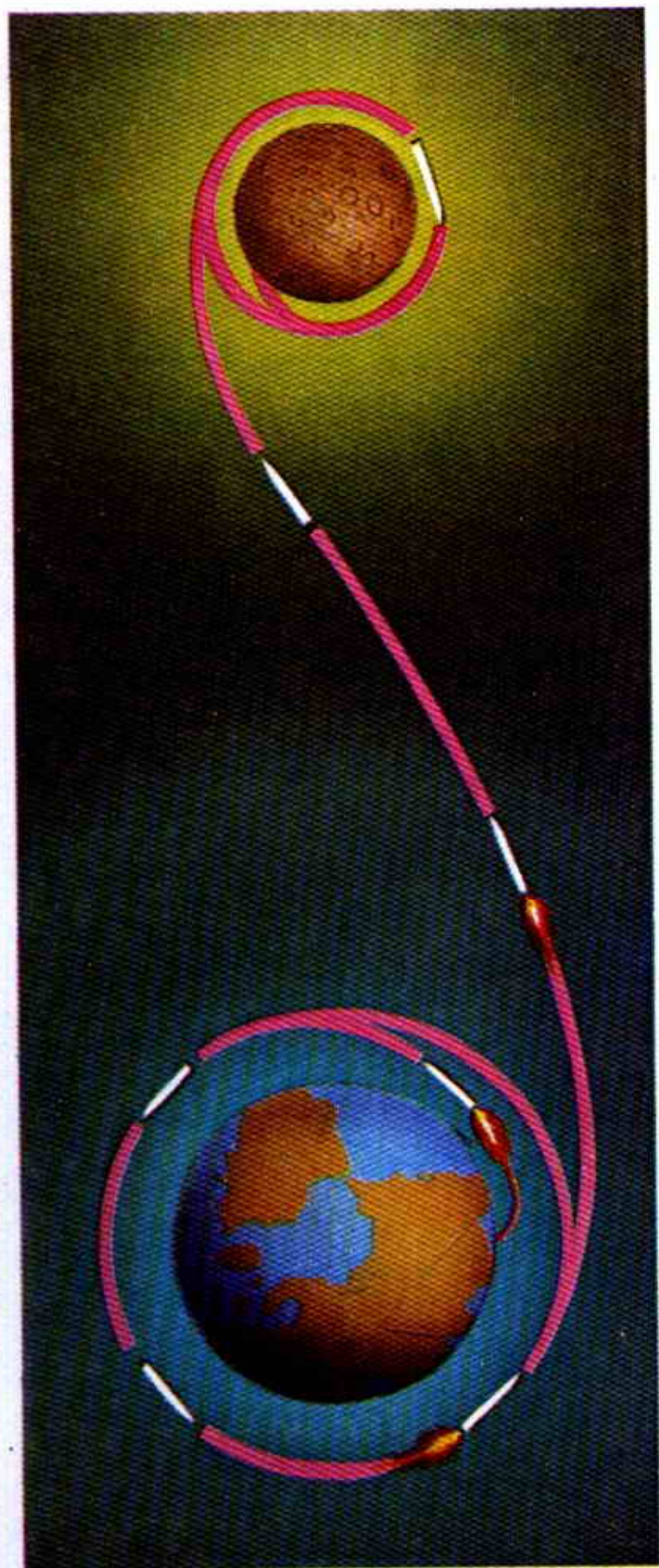
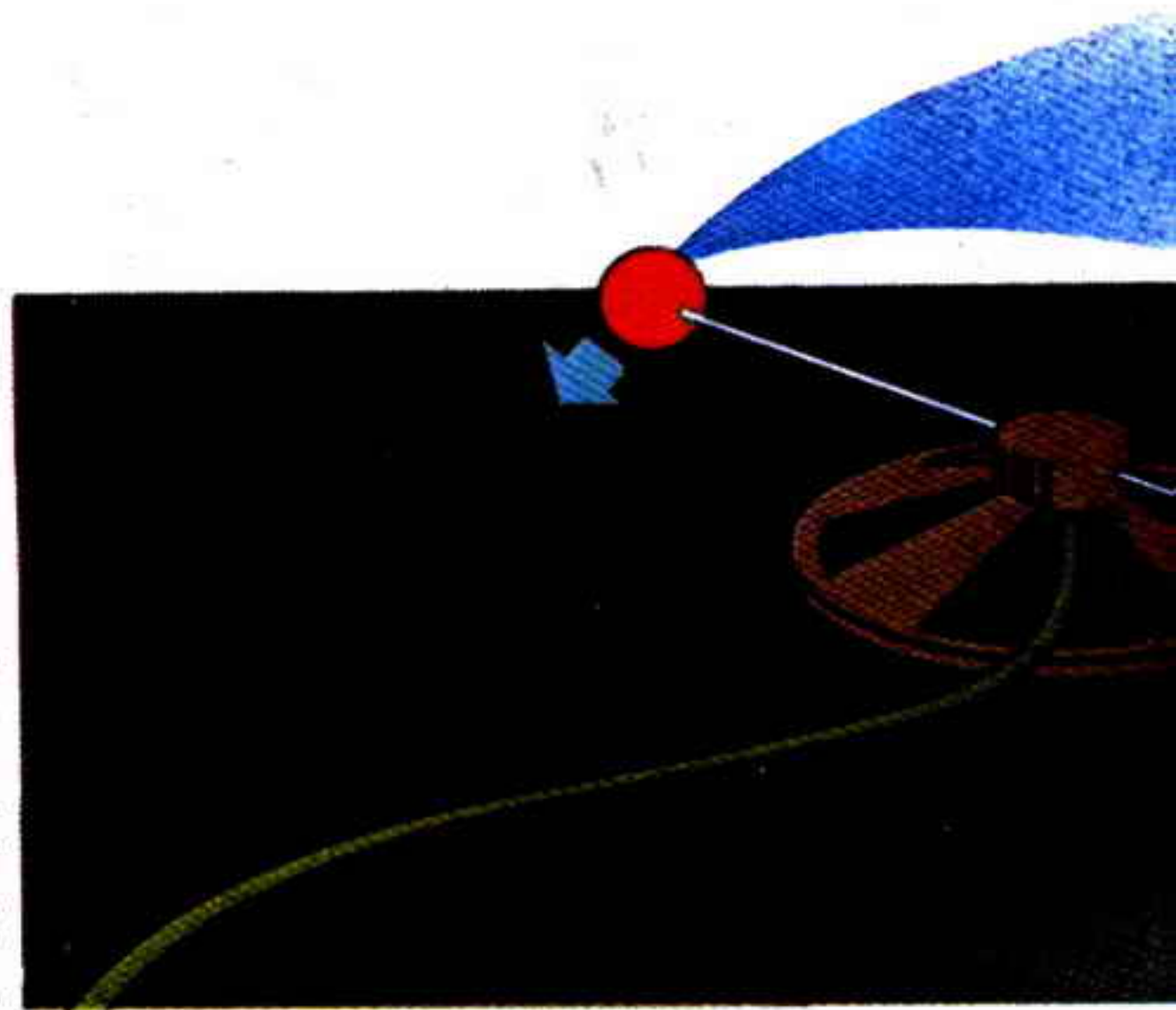
إلى اليمين

يَعْتَمِدُ عَمَلُ المُجَفِّفَةِ الدَّوّارَةِ عَلى القُوَّةِ النّابِذَةِ. فَعِنْدَما تُدَوَّمُ المَلابِسُ وَما تَحْويهِ من ماءٍ في المُجَفِّفَةِ تَنْدَفِعُ كُلُّها بَعيدًا عَن مَرْكَزِ التَّدْويمِ بِفِعْلِ القُوَّةِ النّابِذَةِ. وَتَبْقى المَلابِسُ ضِمْنَ القَفَصِ المَعْدِنِيِّ لِلْمُجَفِّفَةِ، أَمّا الماءُ فَيَنْطَلِقُ خارِجًا لِعَدَمِ وُجودِ ما يَحْجُزُهُ.

إلى اليَسار

عَلِّقْ بَكَرَةَ خيوطٍ بِخَيْطٍ وَأَحْكِمْ رَبْطَها جَيِّدًا. دَوِّرِ البَكَرَةَ المُعَلَّقَةَ بِالخَيْطِ، وَلاحِظْ أَنَّها تَرْتَفِعُ تَدْريجِيًّا بِارْتِفاعِ سُرْعَةِ الدَّوَرانِ حَتّى تَدورَ أَخيرًا في مُسْتَوًى أُفُقِيٍّ. وَهٰذا يُبَيِّنُ تَزايُدَ القُوَّةِ النّابِذَةِ تَدْريجِيًّا عَلى وَزْنِ البَكَرَةِ.

ٱلقُوَّةُ ٱلنَّابِذَةُ
ٱلقَمَرُ
ٱلتَّجاذُبُ ٱلثّاقِلِيُّ
ٱلمَدارُ
تابِعٌ (أَوْ قَمَرٌ اصطِناعِيٌّ)
ٱلأَرْضُ
ٱلمَدارُ

إلى ٱليَسارِ

تَعْتَمِدُ سُرْعَةُ ٱلقَمَرِ أَوِ ٱلتّابِعِ الأَصْطِناعِيِّ عَلى ٱلمَسافَةِ ٱلَّتي تَفْصِلُها عَنِ ٱلأَرْضِ. فَقُوَّةُ ٱلجاذِبِيَّةِ تَعْتَمِدُ عَلى بُعْدِ ٱلتّابِعِ عَنِ ٱلأَرْضِ أَمّا ٱلقُوَّةُ ٱلنّابِذَةُ فَتَعْتَمِدُ عَلى ٱلسُّرْعَةِ ٱلَّتي يَدورُ ٱلتّابِعُ فيها حَوْلَ مَدارِهِ. وَفي وَضْعِ ٱلتَّوازُنِ تَتَعادَلُ ٱلقُوَّةُ ٱلنّابِذَةُ (ٱلَّتي تَميلُ إلى طَرْدِ ٱلتّابِعِ بَعيدًا في ٱلفَراغِ) مَعَ قُوَّةِ ٱلجاذِبِيَّةِ ٱلأَرْضِيَّةِ (ٱلَّتي تَميلُ إلى شَدِّ ٱلتّابِعِ نَحْوَ ٱلأَرْضِ).

إلى ٱليَمينِ

أَدِرْ دَلْوًا فيهِ بعضُ ٱلماءِ من فَوقِ رأسِكَ. فإذا كانَتِ ٱلقُوَّةُ ٱلنّابِذَةُ أكبَرَ مِن وزنِ ٱلماءِ فإنَّ ٱلماءَ يَبقى في ٱلدَّلوِ. عِندَ ٱلقِيامِ بِهٰذِهِ ٱلتَّجْرِبَةِ ٱسْتَعْمِلْ دَلْوًا من ٱلبلاستيك وَٱبْدَأْ بِكَمِّيَّةٍ قَليلَةٍ من ٱلماءِ لِتَتَحاشى ٱلبَلَلَ.

يرتفِعُ مستوى دَوَرانِ البَكَرَةِ بازدياد سُرْعَةِ تَدْويرِها حتّى تدورَ أخيرًا في مستوى أُفُقي

بَكَرَةٌ تَدورُ بِبطْءٍ

إلى ٱليَسارِ

كَيْ تَسْتَطيعَ ٱلسَّفينَةُ ٱلفَضائِيَّةُ ٱلتَّخَلُّصَ مِنَ ٱلجاذِبِيَّةِ ٱلأَرْضِيَّةِ فَإِنَّهُ يَتَوَجَّبُ عَلَيْها أَنْ تَدْخُلَ في مَدارٍ حَوْلَ ٱلأَرْضِ وَمِنْ ثَمَّ تَزيدُ سُرْعَتَها حَتّى تُصْبِحَ ٱلقُوَّةُ ٱلنّابِذَةُ ٱلنّاتِجَةُ عن حَرَكَتِها ٱلدّائِرِيَّةِ هٰذِهِ أَكْبَرَ مِنْ قُوَّةِ ٱلجاذِبِيَّةِ ٱلأَرْضِيَّةِ ٱلَّتي تَشُدُّها نَحْوَ ٱلأَرْضِ. وَتُسَمّى ٱلسُّرْعَةُ ٱلَّتي يَجِبُ بُلوغُها لِحُدوثِ ذٰلِكَ سُرْعَةَ الأنْفِلاتِ. وَحَيْثُ إِنَّ قُوَّةَ ٱلجاذِبِيَّةِ عَلى سَطْحِ ٱلقَمَرِ أَقَلُّ بِكَثيرٍ، فَإِنَّ سُرْعَةَ ٱلإفْلاتِ من ٱلقَمَرِ هِيَ أَيْضًا أَقَلُّ بِكَثيرٍ.

اَلكَثافَةُ

اِحمِلْ في يَدَيْكَ طُوبَةً (آجُرَّةً) وَفي ٱلْأُخْرى قِطْعَةَ خَشَبٍ مِنَ ٱلحَجْمِ نَفْسِهِ تَقْريبًا تَجِدْ أَنَّ ٱلطُّوبَةَ أَثْقَلُ. إِنَّها تَزِنُ أَكْثَرَ مِنَ ٱلخَشَبَةِ، لأَنَّ ٱلأَرْضَ تَجْذِبُها بِقُوَّةٍ أَكْبَرَ مِنَ ٱلقُوَّةِ ٱلَّتي تَجْذِبُ بها قِطْعَةَ ٱلخَشَبِ. وَهٰذا بِدَوْرِهِ يَعودُ إِلى أَنَّ **كُتْلَةَ** ٱلطُّوبَةِ أَكْبَرُ مِنْ كُتْلَةِ قِطْعَةِ ٱلخَشَبِ. أي إِنَّ ٱلكَمِّيَّةَ ٱلكُلِّيَّةَ لِلمادَّةِ هِيَ أَكْبَرُ في ٱلطُّوبَةِ مِنْها في قِطْعَةِ ٱلخَشَبِ.

وَنَحْنُ في ٱخْتِباراتِنا ٱليَوْمِيَّةِ نَعْرِفُ أَنَّ لِلْحَجْمِ نَفْسِهِ مِنَ ٱلموادِّ ٱلمُخْتَلِفَةِ أَوْزانًا وَكُتَلًا مُخْتَلِفَةً. وَأَحْيانًا يَكونُ هٰذا ٱلفَرْقُ شاسِعًا جدًّا، فَمَثَلًا كُتْلَةُ مُكَعَّبٍ مِنَ ٱلذَّهَبِ تَفوقُ كُتْلَةَ مُكَعَّبٍ مُساوٍ مِنَ ٱلجَليدِ بِحوالى عِشْرينَ مَرَّةً.

وَيُطْلَقُ عَلى ثِقَلِ ٱلحَجْمِ ٱلمُحَدَّدِ مِن مادَّةٍ ما ٱسْمُ **ٱلكَثافَة**، وَتَعْتَمِدُ كَثافَةُ ٱلجِسْمِ عَلى شِدَّةِ تَراصٍّ جُزَيْئاتِ ٱلمادَّةِ فيهِ.

إِنَّ كَثافَةَ ٱلآجُرِّ أَكْبَرُ مِن كَثافَةِ ٱلخَشَبِ، أي إِنَّ جُسَيْماتِ ٱلآجُرِّ أَثْقَلُ وَأَكْثَرُ تَراصًّا مِن أَليافِ ٱلخَشَبِ. وَكَمَثَلٍ عَلى زِيادَةِ ٱلوَزْنِ وَبَقاءِ ٱلحَجْمِ ثابِتًا أي عَلى زِيادَةِ ٱلكَثافَةِ تَخَيَّلْ مَصْعَدًا كَهْرَبائِيًّا خالِيًا إِلَّا مِنَ ٱلعامِلِ ٱلَّذي يُشَغِّلُهُ. إِنَّ كَثافَةَ حُجْرَةِ ٱلمَصْعَدِ ٱلإِجْمالِيَّةَ تَزْدادُ تَدْريجيًّا بِٱزْدِيادِ ٱلدّاخِلينَ إِلَيها.

تُعَرَّفُ ٱلكَثافَةُ بِأَنَّها كُتْلَةُ حَجْمٍ مُحَدَّدٍ مِنَ ٱلمادَّةِ. وَوَحْدَةُ ٱلحَجْمِ ٱلمُسْتَخْدَمَةُ غالِبًا لِمُقارَنَةِ ٱلكَثافاتِ هِيَ ٱلسَّنْتيمِتْرُ ٱلمُكَعَّبُ (سم٣)، وَهُوَ حَجْمُ مُكَعَّبٍ مُنْتَظِمٍ طُولُ ضِلْعِهِ سنتيمتر واحِدٌ. إِنَّ وَزْنَ ٱلسنتيمتر ٱلمُكَعَّبِ مِنَ ٱلماءِ يُساوي غرامًا واحِدًا أي إِنَّ كَثافَتَهُ تُساوي غْرامًا لِلسَّنْتيمِتْرِ ٱلمُكَعَّبِ (وَتُكْتَبُ ٱخْتِصارًا غم للسم٣). وَيَزِنُ ٱلسَّنْتيمِتْرُ ٱلمُكَعَّبُ مِن ٱلرَّصاصِ ١١,٣ غرامًا أي إِنَّ كَثافَتَهُ تُساوي ١١,٣ غم للسم٣. أَمَّا ٱلهَواءُ فَيَتَأَلَّفُ مِنْ جُزَيْئاتٍ غَيْرِ مُتَراصَّةٍ وَهٰكذا فإِنَّ كَثافَتَهُ قَليلَةٌ جدًّا (حوالى ٠,٠١٢ غم للسم٣).

فَإِذا ٱعْتَبَرْنا ٱلقِطْعَةَ مِنْ مادَّةٍ ما مُؤَلَّفَةً مِن مُكَعَّباتٍ صَغيرَةٍ مُتَساوِيَةِ ٱلحَجْمِ وَعَرَفْنا عَدَدَ هٰذِهِ ٱلمُكَعَّباتِ وَوَزْنَ ٱلواحِدِ مِنْها، فإِنَّ بِٱسْتِطاعَتِنا إِيجادَ ٱلوَزْنِ ٱلكُلِّيِّ لَها بِضَرْبِ عَدَدِ ٱلمُكَعَّباتِ (الحَجْم) في وَزْنِ ٱلواحِدِ مِنْها (الكَثافَة).

وَكَنَتيجَةٍ لِٱخْتِلافِ ٱلكَثافَةِ فَإِنَّ ٱلأَوزانَ ٱلمُتَساوِيَةَ مِن مَوادَّ مُخْتَلِفَةٍ لَها حُجومٌ مُخْتَلِفَةٌ. وَلِبَيانِ ذٰلِكَ خُذْ ميزانَ مَطْبَخٍ ذا كِفَّتَيْنِ، وَضَعْ في إِحْدى كِفَّتَيْهِ كيلوغرامًا مِنَ ٱلحَديدِ وَفي ٱلأُخْرى كيلوغرامًا مِنَ ٱلسُّكَّرِ.

فَوقُ

طُولُ ٱلضِّلْعِ في هٰذا ٱلمُكَعَّبِ ٱلمُنْتَظِمِ سَنْتيمِتْرٌ واحِدٌ، فَحَجْمُهُ إِذًا سَنْتيمِتْرٌ مُكَعَّبٌ واحِدٌ. فإِذا كانَتْ كُتْلَتُهُ غرامَيْنِ فإِنَّ كَثافَتَهُ تُساوي غرامَيْنِ لِلسَّنْتيمِتْرِ ٱلمُكَعَّبِ (٢ غم للسم٣). أَمّا ضِلْعُ ٱلمُكَعَّبِ ٱلكَبيرِ فَيساوي ٤ سَنْتيمِتْراتٍ فيكونُ حَجْمُهُ إِذًا ٤ × ٤ × ٤ = ٦٤ سَنْتيمِتْرًا مُكَعَّبًا. (بِإِمْكانِكَ مُلاحَظَةُ أَنَّ هٰذا ٱلمُكَعَّبَ ٱلكَبيرَ يُمْكِنُ تَرْكيبُهُ من ٦٤ مُكَعَّبًا صَغيرًا). وَلَمّا كانَتْ كَثافَتُهُ ٢ غم للسم٣ أَيْضًا فإِنَّ كُتْلَتَهُ ٱلكُلِّيَّةَ تُساوي:

٦٤ × ٢ = ١٢٨ غم.

إِلى ٱليَمينِ

يَزِنُ ٱلنّاسُ أَحْيانًا حَقائِبَهُمْ عَلى مَوازينَ زُنْبُرُكِيَّةٍ. وَتَكونُ كَثافَةُ ٱلحَقيبَةِ قَبْلَ تَعْبِئَتِها قَليلَةً. وَبِتَعْبِئَةِ ٱلمَلابِسِ في ٱلحَقيبَةِ تَزْدادُ ٱلكَثافَةُ حَتّى تَصِلَ إِلى حَدِّها ٱلأَعْلى عِنْدَما تَمْتَلِئُ ٱلحَقيبَةُ تَمامًا. وَتَكونُ كُتْلَةُ ٱلحَقيبَةِ ٱلإِجْمالِيَّةُ حينَئِذٍ أَعْظَمَ، بِٱلرَّغْمِ مِنْ أَنَّ حَجْمَها لَمْ يَتَغَيَّرْ. وَكُلَّما ٱزْدادَ ثِقَلُ ٱلحَقيبَةِ ٱزْدادَتْ قِراءَةُ مُؤَشِّرِ ٱلميزانِ.

سَتُلاحِظُ أنَّ حَجْمَ الكيلوغرامِ مِنَ ٱلسُّكَّرِ أكْبَرُ من حَجْمِ ٱلوَزْنِ نَفْسِهِ مِنَ ٱلحَديدِ. جَرِّبْ وَزْنَ كيلوغراماتٍ من مَوادَّ أُخرى وَلاحِظْ كَيفَ أنَّ ٱلحُجومَ تَتَغَيَّرُ بٱخْتِلافِ ٱلمَوادِّ ٱلمُقارَنَةِ، وَأنَّهُ في حالَةِ ٱلوَزْنِ ٱلثّابِتِ يَقِلُّ ٱلحَجْمُ كُلَّما كانَتِ ٱلكَثافَةُ أكْبَرَ.

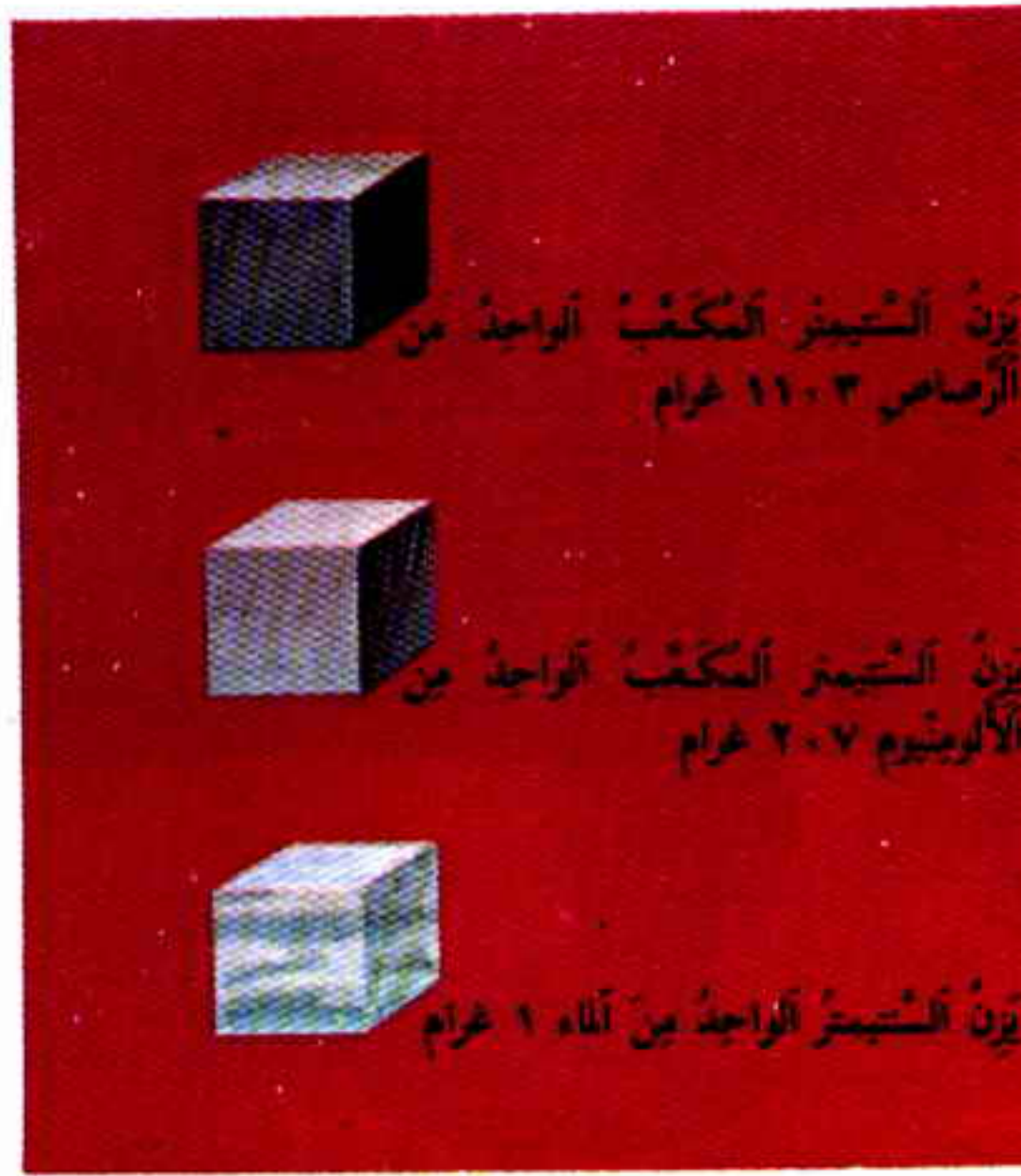
وَٱلمَعْروفُ أنَّ ٱلمَوادَّ ٱلأَقَلَّ كَثافَةً مِنَ ٱلماءِ تَطْفو عَلى سَطْحِهِ. فَجَبَلُ ٱلجَليدِ يَطْفو لِأنَّ كَثافَةَ ٱلجَليدِ أقَلُّ مِن كَثافَةِ ٱلماءِ. كَذٰلِكَ فإنَّ ٱلكَثافَةَ ٱلإجْمالِيَّةَ لِلسُّفُنِ ٱلفولاذِيَّةِ أَقَلُّ مِن غم للسم³ لأنَّ جَوْفَها مَمْلوءٌ بِٱلهَواءِ. وَهٰذِهِ ٱلسُّفُنُ تَطْفو عَلى سَطْحِ ٱلماءِ، بَيْنَما ٱلقِطْعَةُ ٱلصَّغيرَةُ مِنْ لَوْحٍ فولاذِيٍّ تَغوصُ في ٱلماءِ. أمّا ٱلإنْسانُ فَكَثافَتُهُ تَكادُ تُساوي كَثافَةَ ٱلماءِ، لِذٰلِكَ يُمْكِنُهُ ٱلعَوْمُ أوِ ٱلسِّباحَةُ في ٱلماءِ دُونَ أنْ يَغْرَقَ.

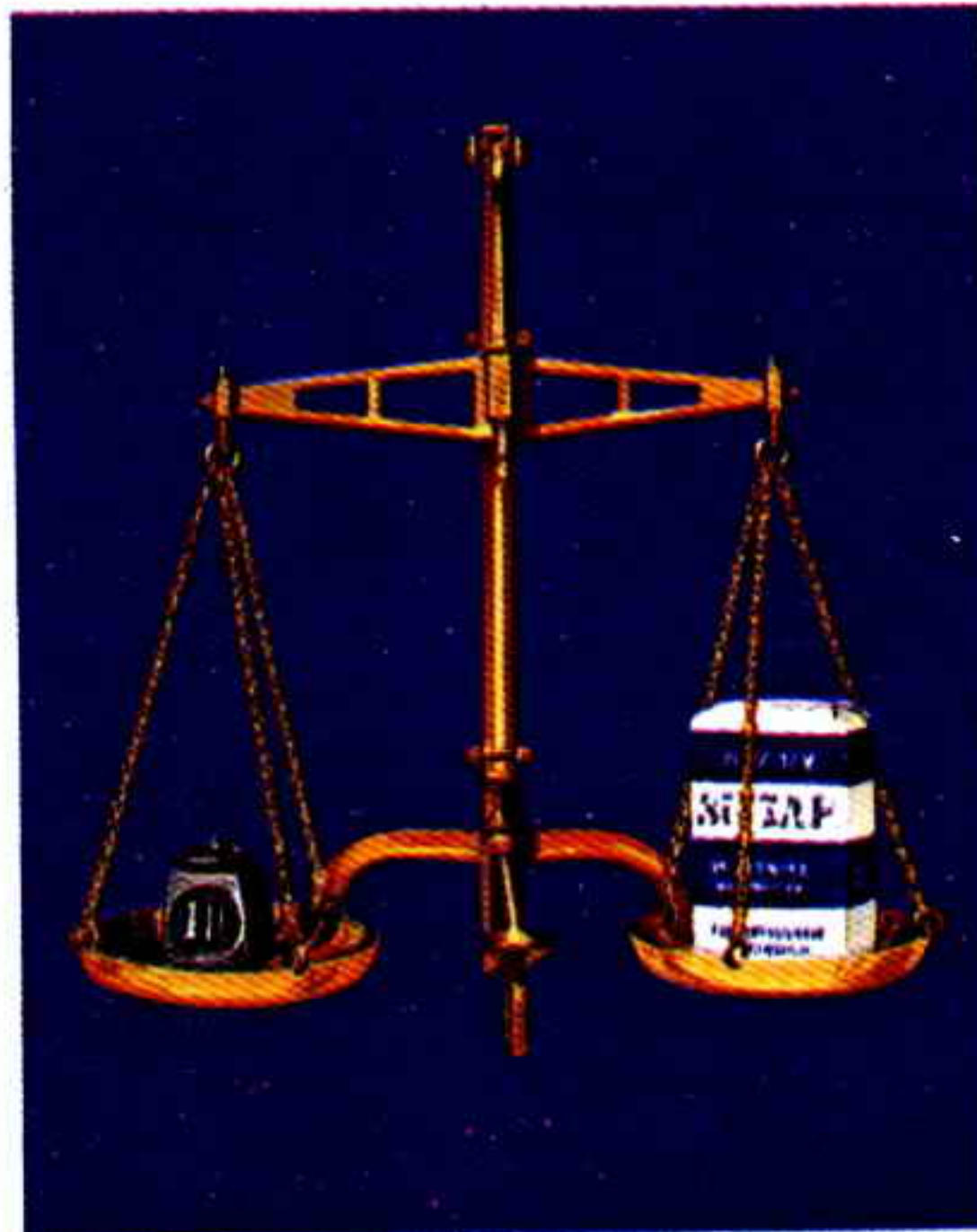
إنَّ مَعْرِفَةَ كَثافَةِ ٱلأجْسامِ أمْرٌ مُهِمٌّ جِدًّا. في صِناعَةِ ٱلطّائِراتِ مَثَلًا يُفَضَّلُ طَبْعًا عَدَمُ ٱسْتِخْدامِ ٱلمَوادِّ ذاتِ ٱلكَثافَةِ ٱلعالِيَةِ لِئَلّا تُصْبِحَ ٱلطّائِرَةُ ثَقيلَةً جِدًّا وَلِذٰلِكَ تُسْتَخْدَمُ ٱلسَّبائِكُ أوِ ٱلخَلائِطُ ٱلمَعْدِنِيَّةُ ٱلَّتي تَتَأَلَّفُ بِشَكْلٍ رَئيسِيٍّ مِنَ ٱلألومِنْيومِ ٱلخَفيضِ ٱلكَثافَةِ. كَما تُضافُ إلى ٱلخَلْطِ ٱلمَعْدِنِيِّ فِلِزّاتٌ أُخْرى لِتُكْسِبَهُ مَتانَةً كافِيَةً. وَتُصْنَعُ نَماذِجُ ٱلطّائِراتِ أحْيانًا مِنْ خَشَبِ ٱلبلسا ٱلمَعْروفِ أيْضًا بِكَثافَتِهِ ٱلمُنْخَفِضَةِ. وَمِن ناحِيَةٍ أُخْرى فإنَّ ثِقْلَ ٱلتَّغْطيسِ ٱلمُسْتَعْمَلَ في شِباكِ صَيْدِ ٱلسَّمَكِ يُتَّخَذُ مِنَ ٱلرَّصاصِ نَظَرًا لِكَثافَتِهِ ٱلعالِيَةِ.

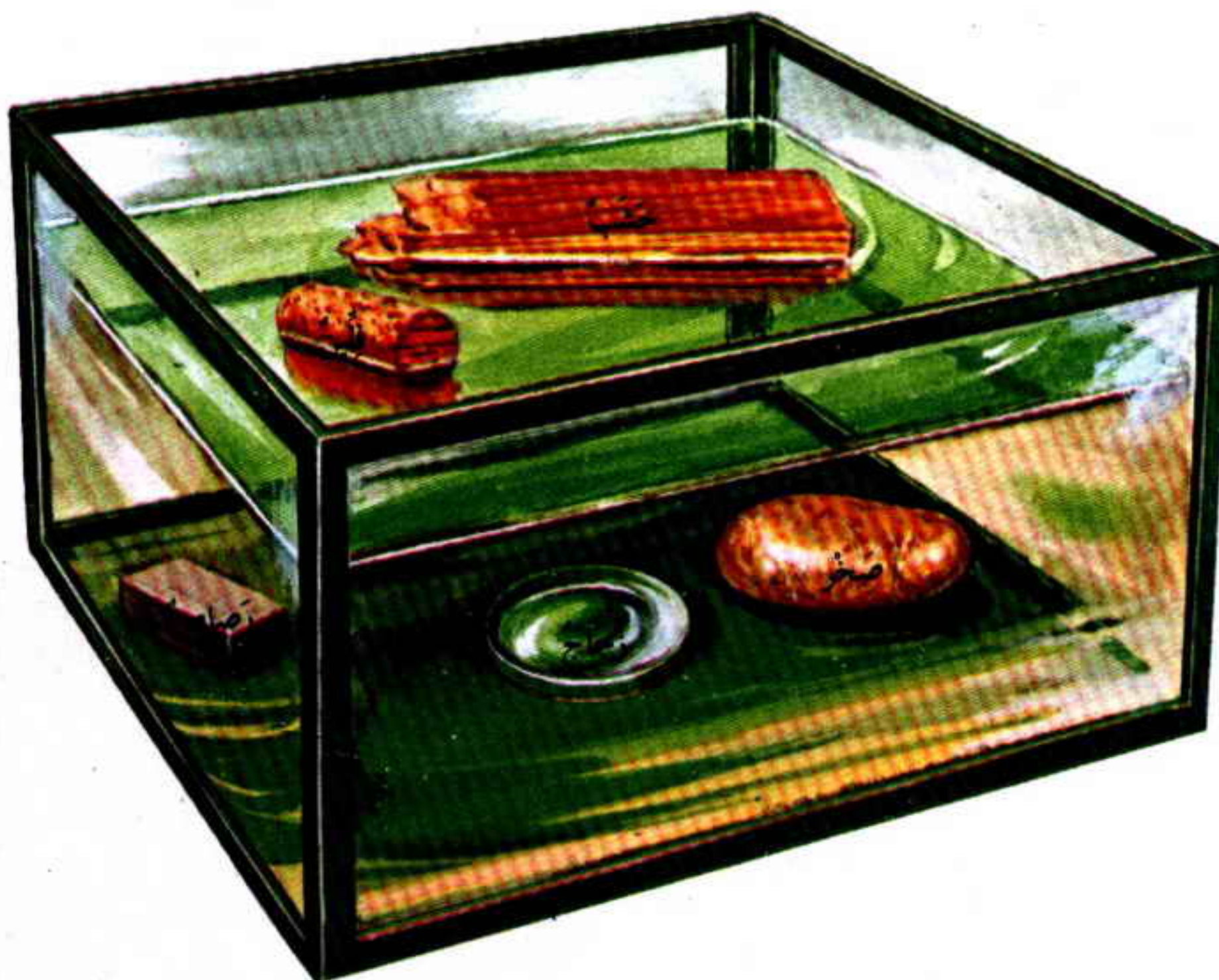
يَزِنُ ٱلسَّنْتيمتر ٱلمُكَعَّبُ ٱلواحِدُ مِن ٱلرَّصاصِ ١١٫٠٣ غرام

يَزِنُ ٱلسَّنْتيمتر ٱلمُكَعَّبُ ٱلواحِدُ مِن ٱلألومِنْيوم ٢٫٠٧ غرام

يَزِنُ ٱلسَّنْتيمتر ٱلواحِدُ مِن ٱلماءِ ١ غرام

إلى ٱليَسارِ

زِنْ مَجْموعَةً مِنَ ٱلأَجْسامِ ٱلمُخْتَلِفَةِ ٱلمُتَساوِيَةِ ٱلحَجْمِ تَقْريبًا، وَسَتُلاحِظُ أنَّ أوْزانَها غَيرُ مُتَساوِيَةٍ. إنَّ ٱلحُجومَ ٱلمُتَساوِيَةَ مِن مَوادَّ مُخْتَلِفَةٍ تَزِنُ مَقاديرَ مُخْتَلِفَةً لِأنَّ لَها كَثافاتٍ مُخْتَلِفَةً.

إلى ٱليَسارِ

جِدِ ٱلأحْجامَ ٱلمُخْتَلِفَةَ لِوَزْنٍ مُحَدَّدٍ مِنْ مَوادَّ مُخْتَلِفَةِ ٱلكَثافَةِ. إنَّ كيلوغرامًا مِنَ ٱلرّيشِ أوِ ٱلإسْفَنْجِ يَشْغَلُ حَيِّزًا كَبيرًا جِدًّا بِٱلنِّسْبَةِ إلى حَجْمِ كيلوغرامٍ مِنَ ٱلرَّصاصِ مَثَلًا.

إلى ٱليَسارِ

بَعْضُ ٱلأجْسامِ تَغوصُ في ٱلماءِ لأنَّ كَثافَتَها أكْبَرُ مِن كَثافَةِ ٱلماءِ كَما إنَّ بَعْضَ ٱلأجْسامِ ٱلأُخْرى تَطْفو عَلى سَطْحِ ٱلماءِ لِأنَّ كَثافَتَها أصْغَرُ من كَثافَةِ ٱلماءِ.

القوة والعطالة

منَ المعلومِ أنَّ الأجسامَ الساكنةَ لا تبدأُ بالتحرُّكِ من تلقاءِ نفسِها، فكرةُ القدمِ مثلًا لا تتحرَّكُ ما لم تُرفَسْ. أي إنَّ الأجسامَ التي هي في حالةِ سكونٍ تبدو وكأنَّها تميلُ إلى البقاءِ في هذا الوضعِ.

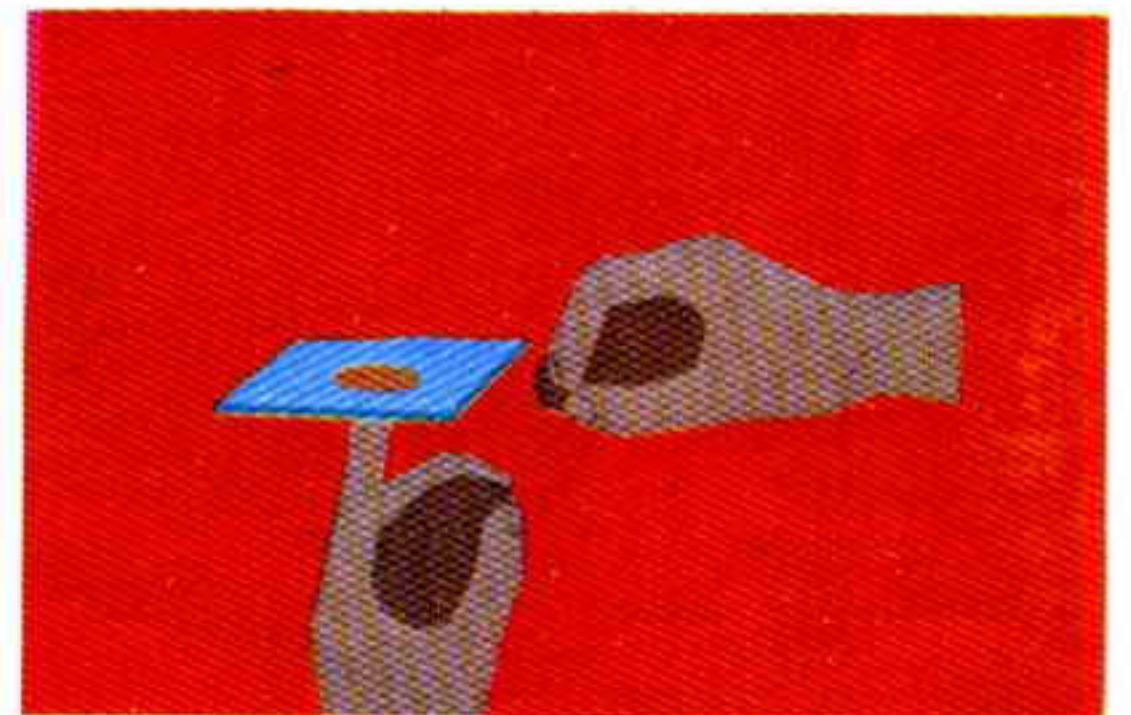
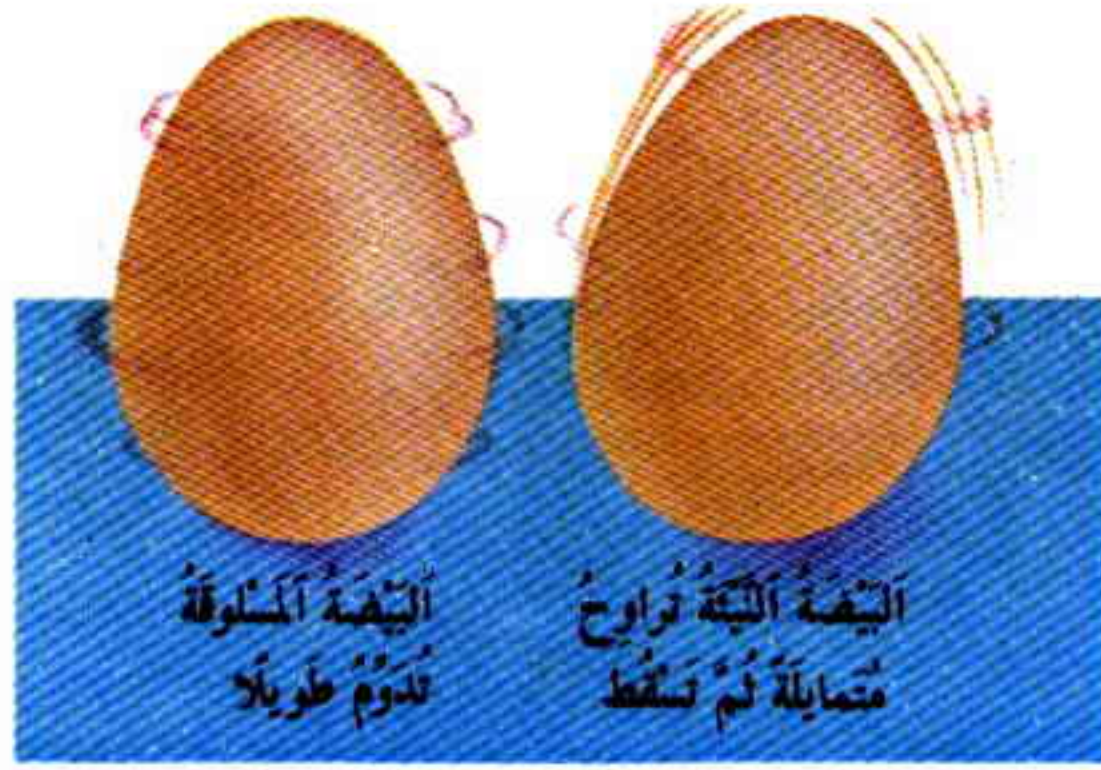
وإذا وازنتَ بطاقةً بريديَّةً عليها قطعةُ نقودٍ، فوقَ طرفِ إصبعِكَ ثُمَّ نقرتَ البطاقةَ من طرفِها فإنَّها تنطلقُ بعيدًا وتبقى قطعةُ النقودِ على إصبعِكَ. ولعلَّكَ شاهدتَ أحدًا على المسرحِ أو على شاشةِ التلفزيونِ يقومُ بلعبةِ خفَّةٍ تعتمدُ على المبدإِ نفسِهِ، فتراهُ يسحبُ غطاءَ الطاولةِ برشاقةٍ فائقةٍ من تحتِ الأطباقِ والأكوابِ والأدواتِ دونَ أنْ يختلَّ نظامُها. ولا ننصحُكَ بإجراءِ هذهِ التجربةِ لأنَّها تتطلَّبُ مِرانًا كثيرًا.

هناكَ أمثلةٌ أخرى تبيِّنُ ميلَ الأجسامِ للاحتفاظِ بوضعِ الحركةِ أو السكونِ الذي هيَ فيهِ. فعندَ إقلاعِ السيَّارةِ نحوَ الأمامِ مثلًا، تلاحظُ أنَّ الركَّابَ يرتدُّونَ نحوَ الخلفِ لأنَّ أجسامَهُمُ الساكنةَ تميلُ إلى البقاءِ في وضعِها. وكذلكَ عندَ توقُّفِ السيَّارةِ فجأةً فإنَّ الركَّابَ يندفعونَ نحوَ الأمامِ لأنَّ أجسامَهُمْ تميلُ إلى الاستمرارِ في الحركةِ بينَما السيَّارةُ قدْ توقَّفتْ.

ويُمكنُ القولُ بشكلٍ عامٍّ إنَّ الأجسامَ الساكنةَ تميلُ إلى البقاءِ ساكنةً كما إنَّ الأجسامَ المتحرِّكةَ تميلُ إلى الاستمرارِ في حالةِ الحركةِ. وهذا الميلُ إلى الاستمرارِ في حالةِ السكونِ أو في حالةِ الحركةِ يُسمَّى **العطالةَ أو القصورَ الذاتيَّ**. والعطالةُ تزدادُ بازديادِ الكتلةِ، فعربةُ الشاي الفارغةُ مثلًا يسهُلُ إيقافُها أو تحريكُها، أمَّا إذا حُمِّلتْ بأجسامٍ ثقيلةٍ فإنَّ عطالتَها تزيدُ ويصعُبُ بالتالي تحريكُها أو توقيفُها لأنَّ كتلتَها قدْ زادتْ.

ولكي توقِفَ جسمًا متحرِّكًا أو تُحرِّكَ جسمًا ساكنًا

البيضةُ النيِّئةُ تراوحُ متمايلةً ثُمَّ تسقُطُ

البيضةُ المسلوقةُ تدومُ طويلًا

إلى اليمين

فيما يلي وسيلةٌ تنطوي على استخدامِ مبدإ العطالةِ للتفريقِ بينَ بيضةٍ مسلوقةٍ وبيضةٍ نيِّئةٍ دونَ كسرِها. دوِّمْ كُلًّا منهُما رأسيًّا على طبقٍ. إنَّ البيضةَ المسلوقةَ تدورُ فترةً من الزمنِ أطولَ، بينما سُرعانَ ما تترنَّحُ البيضةُ النيِّئةُ وتتوقَّفُ عن الدورانِ وتسقطُ. ومن أجلِ التأكُّدِ أكثرَ، دوِّمِ البيضتينِ مُجدَّدًا، ثمَّ أوقفْهما فجأةً واتركْهُما. إنَّ البيضةَ المسلوقةَ تبقى ساكنةً بينما تُتابعُ البيضةُ النيِّئةُ الدورانَ تلقائيًّا. إنَّ السببَ في هذا الفرقِ في السلوكِ يعودُ إلى أنَّ عطالةَ محتوى البيضةِ تكونُ أكبرَ في حالةِ السيولةِ فهوَ لذلكَ يقاومُ الدورانَ في التجربةِ الأولى، بينَما يُتابعُ حركتَهُ لفترةٍ ما بعدَ توقُّفِ القشرةِ فجأةً في التجربةِ الثانيةِ.

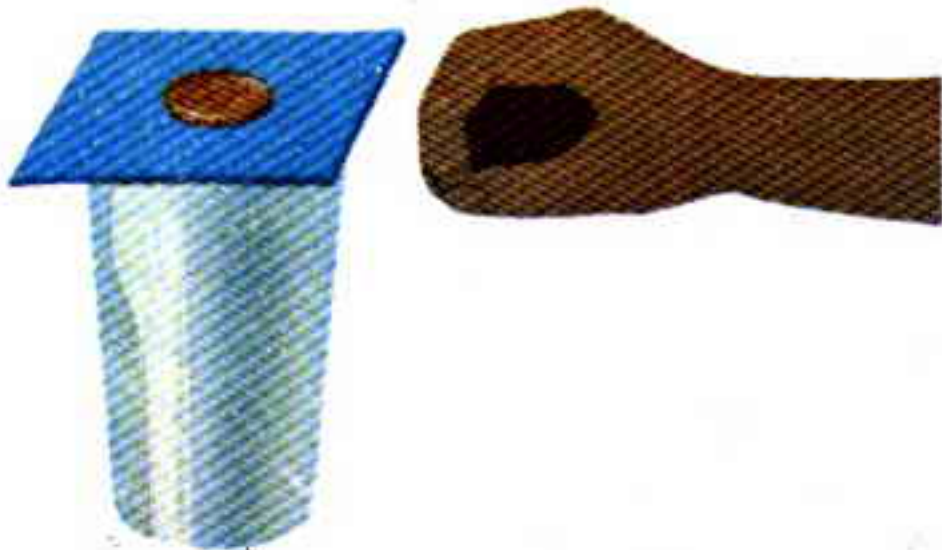
إلى اليمين

يظهرُ تأثيرُ العطالةِ في السوائلِ بشكلٍ جليٍّ. فإذا سحبتَ فنجانًا مليئًا بالماءِ نحوكَ بحدَّةٍ يندلقُ ماؤهُ في اتِّجاهٍ معاكسٍ للحركةِ لأنَّ عطالةَ الماءِ تُحاولُ إبقاءَهُ في مكانِهِ. أعدِ التجربةَ بتحريكِ الفنجانِ تدريجيًّا ليكتسبَ سرعةً منتظمةً ثمَّ اجعلْهُ يصطدمُ بعائقٍ ليتوقَّفَ فجأةً، ولاحظْ أنَّ الماءَ في هذهِ الحالةِ يندلقُ باتِّجاهِ الحركةِ لأنَّ عطالتَهُ تميلُ إلى إبقائِهِ متحرِّكًا بعدَ توقُّفِ الفنجانِ الذي يحتويهِ.

إلى اليسارِ

ضعْ قطعةَ نقودٍ على قطعةِ ورقٍ مقوًّى تُركِّزُها فوقَ فوهةِ كأسٍ، ثُمَّ اطلُبْ من أحدِ رفاقِكَ أن يُحاولَ إدخالَ قطعةِ النقودِ إلى الكأسِ دونَ أن يمسَّها. إنَّ السرَّ في هذهِ اللعبةِ هو نقفُ الورقةِ بحدَّةٍ بحيثُ تنطلقُ هيَ بعيدًا تاركةً قطعةَ النقودِ تسقُطُ في الكأسِ، فعندَ نقفِ الورقةِ السميكةِ تبقى قطعةُ النقودِ مكانَها بفعلِ العطالةِ.

إلى اليمينِ

ضعْ قطعةَ نقودٍ على ورقةٍ سميكةٍ تُوازِنُها فوقَ طرفِ إصبعِكَ. انقُفِ الورقةَ بحدَّةٍ فتبقى قطعةُ النقودِ فوقَ إصبعِكَ. ويعودُ السببُ هنا أيضًا إلى العطالةِ التي تميلُ إلى جعلِ قطعةِ النقودِ تبقى ساكنةً في مكانِها.

فإنَّكَ تَدفعُهُ أو تسحبُهُ . وعمليَّتا ٱلشَّدِّ وَٱلدَّفعِ هُما نوعٌ مِنَ ٱلقُوَّةِ . وَحِينَ تُقَرِّبُ قُطْبَي مغْنَطيسَيْنِ من بَعْضِهِا فإنَّكَ تُحِسُّ بِتجاذُبِها أو تَنافُرِها كَما تَشْعُرُ بِقُوَّةٍ مُعاكِسَةٍ حِينَ تعكِسُ وَضْعَ أَحَدِ ٱلمغْنَطيسَيْنِ . وَهٰذا ٱلتَّجاذُبُ أَوِ ٱلتَّنافُرُ هُوَ أَيْضًا مَثَلٌ عَلى ٱلقُوَّةِ .

إنَّ تَحْريكَ ٱلجِسْمِ ٱلسّاكِنِ أو إِبْطاءَ حَرَكَةِ ٱلجِسْمِ ٱلمُتَحَرِّكِ يَتَطَلَّبُ قُوَّةً – أي إنَّ ٱلقُوَّةَ ضروريَّةٌ لِمُقاوَمَةِ ٱلعَطالَةِ .

لَقَدْ أَوْجَزَ ٱلسِّير إسحٰق نيوتُن ٱلعَلاقَةَ بَيْنَ ٱلقُوَّةِ وَٱلحَرَكَةِ وَٱلعَطالَةِ ، حَيْثُ قالَ : كُلُّ جِسْمٍ ساكِنٍ يَبْقى ساكِنًا وَكُلُّ جِسْمٍ مُتَحَرِّكٍ يَبْقى مُتَحَرِّكًا ما لَمْ تُؤَثِّرْ فيهِ قُوَّةٌ تُغَيِّرُ وَضْعَهُ .

فَٱلطَّلْقَةُ ٱلنّارِيَّةُ ٱلمُنْدَفِعَةُ من بُنْدُقِيَّةٍ تَتَباطَأُ سُرْعَتُها تَدْريجِيًّا بِفِعْلِ مُقاوَمَةِ ٱلهَواءِ حَتّى تَسْقُطَ عَلى ٱلأَرْضِ . فَلَوِ ٱنْعَدَمَ وُجودُ ٱلهَواءِ ، كَما هِيَ ٱلحالُ في ٱلفَضاءِ ٱلخارِجِيِّ ، لَتابَعَتِ ٱلرَّصاصَةُ سَيْرَها دُونَ تَوَقُّفٍ . وَهٰذا يُفَسِّرُ كَيْفَ تَسْتَطيعُ ٱلسَّفينَةُ ٱلفَضائِيَّةُ ٱلتَّحَرُّكَ عَبْرَ ٱلفَضاءِ خارِجَ ٱلجَوِّ ٱلأَرْضِيِّ ، دُونَ وَقودٍ . أَمّا ٱلصَّواريخُ ٱلَّتي تَحْمِلُها ٱلسَّفينَةُ ٱلفَضائِيَّةُ فَإِنَّها تُسْتَخْدَمُ فَقَط لِتَبْطِئَةِ ٱلسُّرْعَةِ أَو لِزِيادَتِها أَو لِتَغْييرِ ٱتِّجاهِها . وَهٰكَذا نَرى أَنَّ ٱلقُوَّةَ تُسَبِّبُ تَغَيُّرَ سُرْعَةِ ٱلجِسْمِ (تَسارُعًا أَو تَباطُؤًا) . وَقَدْ أَلْمَحَ نيوتُن أَيضًا إلى أَنَّ مِقْدارَ هٰذا ٱلتَّغَيُّرِ (تَسارُعًا أَو تَباطُؤًا) يَعْتَمِدُ عَلى شِدَّةِ ٱلقُوَّةِ ٱلمُؤَثِّرَةِ .

فوقُ

إِنَّ ٱلقُوَّةَ ٱللّازِمَةَ لِقَذْفِ كُرَةِ ٱلكريكيت أَكْبَرُ مِنَ ٱلقُوَّةِ ٱللّازِمَةِ لِقَذْفِ كُرَةِ ٱلتِّنس لأَنَّ كُتْلَةَ كُرَةِ ٱلكريكيت أَكبَرُ مِنْ كُتْلَةِ كُرَةِ ٱلتِّنِس .

إلى ٱليَسارِ

تَتَزايَدُ سُرْعَةُ ٱلأَجسامِ وَهِيَ ساقِطَةٌ لِأَنَّ ٱلأَجْسامَ ٱلسّاقِطَةَ تَتَسارَعُ بِتَأْثيرِ قُوَّةِ ٱلجاذِبِيَّةِ ٱلأَرْضِيَّةِ . لَقَدْ كانَ ٱلنّاسُ فيما مَضى يَعْتَقِدونَ أَنَّهُ إِذا ما سَقَطَ جِسْمانِ مِنَ ٱلارْتِفاعِ نَفْسِهِ فإنَّ ٱلجِسْمَ ٱلأَثْقَلَ مِنْهُما يَصِلُ ٱلأَرْضَ أَوَّلًا . وَقَدْ أَثْبَتَ ٱلعالِمُ ٱلايطالِيُّ غاليليو أَنَّ ذٰلِكَ لَيْسَ صَحيحًا وَأَنَّ جَميعَ ٱلأَجْسامِ تَسْقُطُ بِٱلسُّرْعَةِ نَفْسِها . وَيُزْعَمُ أَنَّ غاليليو أَجْرى تَجارِبَهُ تِلْكَ بِإِسْقاطِ حِجارَةٍ مُخْتَلِفَةِ ٱلأَوْزانِ مِنْ فَوقِ بُرْجِ بيزا ٱلمائِلِ . وَٱلواقِعُ أَنَّ ٱلجِسْمَ ٱلأَثْقَلَ ، بِتَأْثيرِ شَدِّ ٱلجاذِبِيَّةِ ٱلأَكْبَرِ عَلَيْهِ ، يَسْقُطُ بِسُرْعَةٍ مُساوِيَةٍ لِسُرْعَةِ ٱلجِسْمِ ٱلأَخَفِّ ٱلساقِطِ بِتَأْثيرِ شَدِّ ٱلجاذِبِيَّةِ ٱلأَقَلِّ عَليهِ .

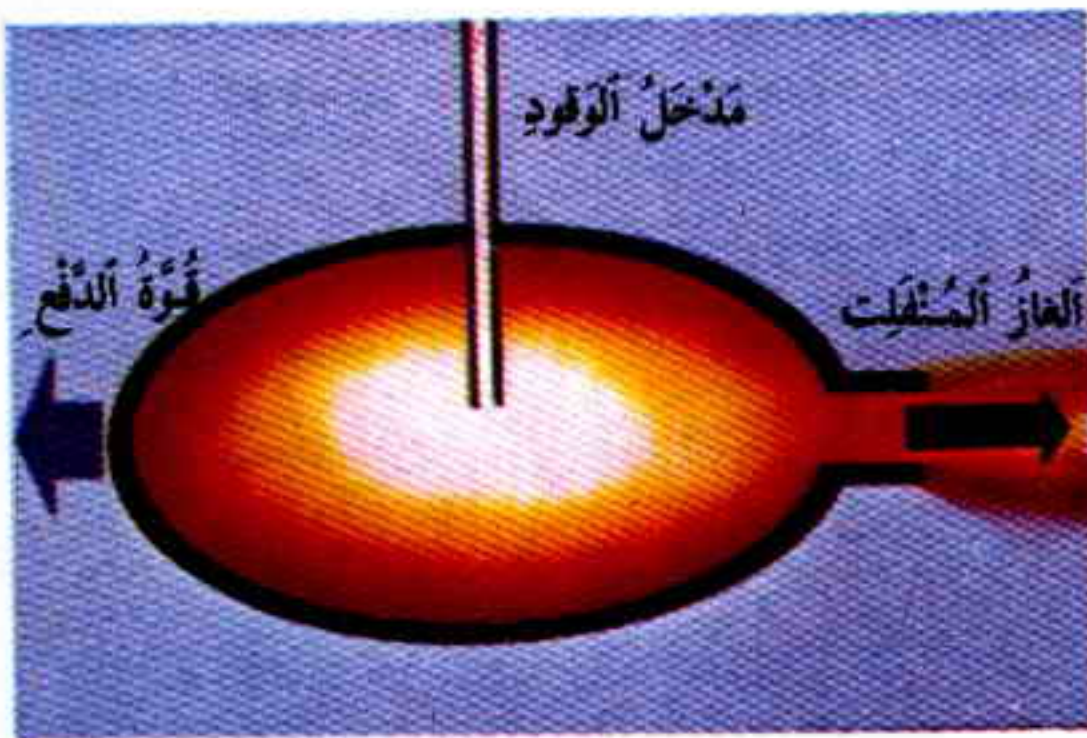
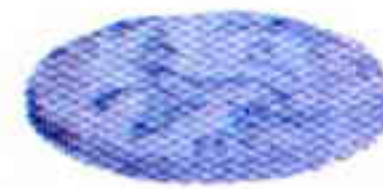
إلى ٱليَمينِ

قَد لا تَسْقُطُ جَميعُ ٱلأَجْسامِ بِٱلسُّرْعَةِ نَفْسِها . فَسُرْعَةُ سُقوطِ قِطْعَةِ ٱلنُّقودِ مَثَلًا تَفوقُ سُرْعَةَ سُقوطِ قِطْعَةٍ صَغيرَةٍ مِنَ ٱلوَرَقِ . وَهٰذا عائِدٌ إلى دَفْعِ ٱلهَواءِ ٱلَّذي يَعوقُ سُقوطَ ٱلوَرَقَةِ . فإذا ما وُضِعَتِ ٱلوَرَقَةُ فَوقَ قِطْعَةِ ٱلنُّقودِ فإِنَّهُما تَصِلانِ ٱلأَرْضَ في ٱلوَقْتِ نَفْسِهِ .

مَدْخَلُ ٱلوَقودِ

قُوَّةُ ٱلدَّفْعِ

ٱلغازُ ٱلمُنْفَلِتُ

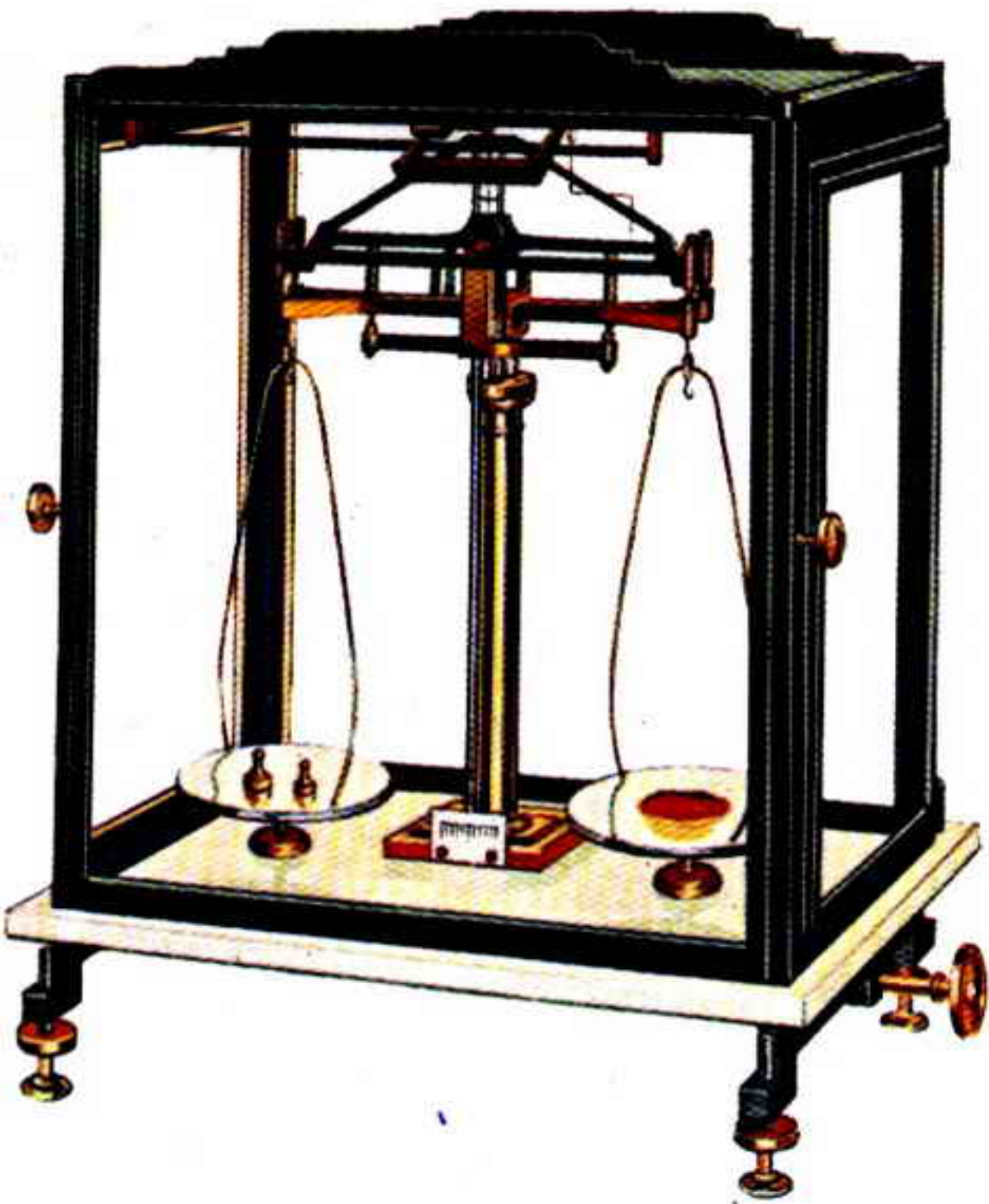
فَوقُ

مِنَ ٱلمَبادِئِ ٱلمُهِمَّةِ ٱلَّتي ٱكْتَشَفَها نيوتُن أَيضًا أَنَّ لِكُلِّ فِعْلٍ رَدَّ فِعْلٍ مُساوِيًا وَمُضادًّا لَهُ في ٱلاتِّجاهِ وَيُعْرَفُ هٰذا ٱلمَبْدَأُ بِقانونِ نيوتُن ٱلثّالِثِ . فإذا وُجِّهَتْ إلى جِدارٍ قُوَّةُ دَفْعٍ مُعَيَّنَةٌ فإِنَّ ٱلجِدارَ يُوَجِّهُ بِدَوْرِهِ دَفْعًا مُعادِلًا في ٱلاتِّجاهِ ٱلمُعاكِسِ يُسَمّى رَدَّ ٱلفِعْلِ . وَتَعْمَلُ ٱلصَّواريخُ حَسَبَ هٰذا ٱلمَبْدَإِ حَيْثُ تُطْرَدُ ٱلغازاتُ ٱلسّاخِنَةُ مِنْ مُؤَخَّرَةِ ٱلصّاروخِ فَيَنْدَفِعُ ٱلصّاروخُ نَحْوَ ٱلأَمامِ بِتَأْثيرِ رَدِّ ٱلفِعْلِ ٱلنّاتِجِ عَنِ ٱنْفِلاتِ ٱلغازِ .

إلى ٱلأسفل

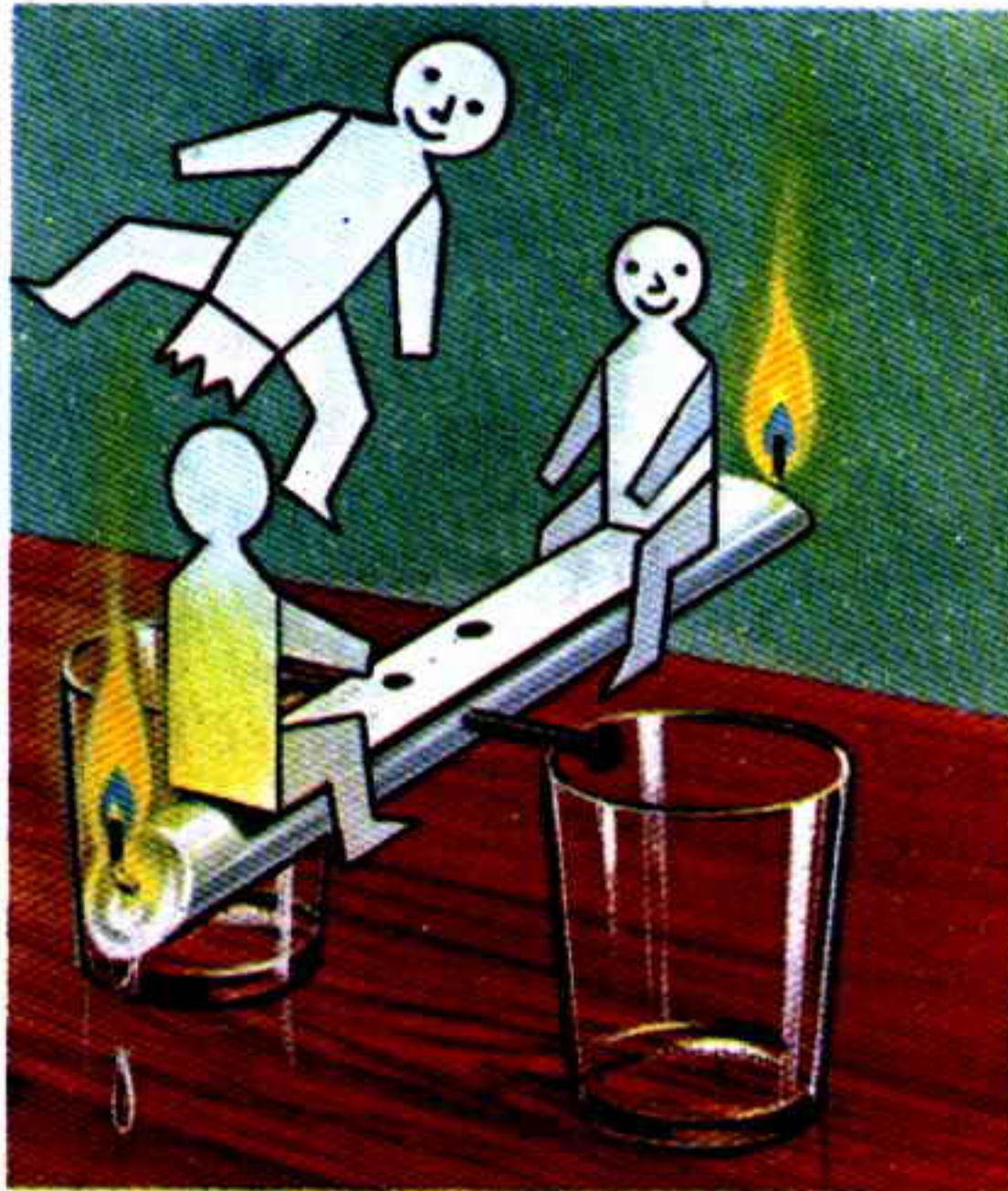
إذا كانَ وَزْنُ سَليمٍ ضِعْفَ وَزْنِ رَفيقِهِ حَسَن فإنَّ بُعْدَهُ عَنْ مِحْوَرِ ٱرْتِكازِ لَوحِ ٱلأُرْجوحَةِ يَجِبُ أَنْ يكونَ نِصْفَ بُعْدِ رَفيقِهِ. فَلِلتَّأَرْجُحِ ٱلمُتَوازِنِ يَجِبُ أَنْ يكونَ عَزْماهُما مُتَساوِيَيْنِ.

حَسَن (٢٥ كلغم)

سَليم (٥٠ كلغم)

فَوقُ

يَسْتَعْمِلُ ٱلكيميائيُّون مِثْلَ هٰذِهِ ٱلمَوازينِ لِوَزْنِ ٱلمَوادِّ ٱلمُخْتَلِفَةِ بِدِقَّةٍ فَيَضعونَ صَنَجاتِ ٱلوَزْنِ في كِفَّةٍ وَٱلمُرَكَّبَ ٱلكيمْيائيَّ ٱلمُرادَ وَزْنُهُ في ٱلكِفَّةِ ٱلأُخْرى. وَعِنْدَ تَوازُنِ ٱلكِفَّتَيْنِ تكونُ ٱلكُتَلُ فيهِما مُتَساوِيَةً.

إلى ٱليَمينِ

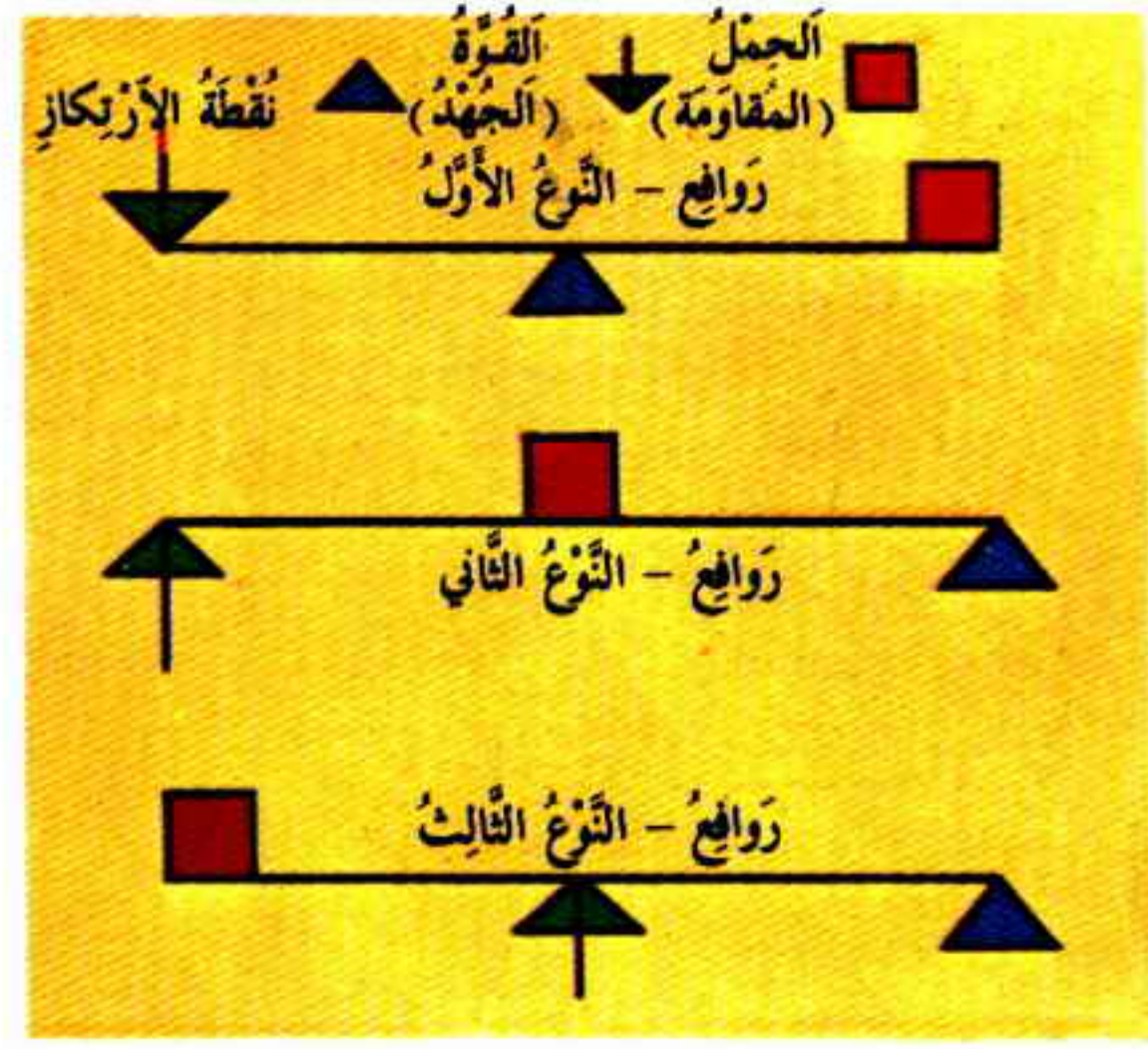
أَدْخِلْ مِسْمارًا في مُنْتَصَفِ شَمْعَةٍ بَطيئَةِ الاحْتِراقِ ثُمَّ وازِنْها فَوقَ كَأْسَيْنِ. أَشْعِلْ طَرَفَيِ ٱلشَّمْعَةِ وَلاحِظْ تَأَرْجُحَها صُعودًا وَهُبوطًا. عِنْدَ تَقَطُّرِ ٱلشَّمْعِ مِن طَرَفٍ يَخِفُّ وَزْنُ ذٰلِكَ ٱلطَّرَفِ فَيَصْعَدُ، وَعِنْدَما يُقَطِّرُ ٱلطَّرَفُ ٱلثّاني يَخِفُّ بِدَوْرِهِ فَيَعودُ ٱلتَّوازُنُ وَيَصْعَدُ بِدَوْرِهِ بَيْنَما يَهْبِطُ ٱلآخَرُ وَهٰكَذا دَوالَيْكَ. وَإِذا أَرَدْتَ وَضْعَ راكِبَيْنِ عَلى أُرْجوحَتِكَ هٰذِهِ، فَقُصَّهُما مِن رَقيقَةٍ مَعْدِنِيَّةٍ كي لا يَحْتَرِقا.

ٱلعُزومُ وَٱلرَّوافِعُ

إذا رَكَّزْتَ مِسْطَرَةً طولُها ٣٠ سم فَوقَ قَلَمِ رَصاصٍ على طاوِلَةٍ فَسَتَجِدُ أَنَّ ٱلمِسْطَرَةَ تَتَوازَنُ فَقَطْ عِنْدَما يكونُ ٱلقَلَمُ تَحْتَ عَلامَةِ ٱلتَّدْريجِ ٱلمُرَقَّمَةِ ١٥ سم. فإذا وَضَعْتَ عِنْدَئِذٍ قِطْعَةَ نُقودٍ عَلى ٱلدَّرَجَةِ ٱلمُرَقَّمَةِ ٣٠ سم وَقِطْعَةَ نُقودٍ أُخْرى مُشابِهَةً عَلى عَلامَةِ ٱلصِّفْرِ فإنَّ ٱلمِسْطَرَةَ تَبْقى مُتَوازِنَةً. كَما تَجِدُ أَيْضًا أَنَّ قِطْعَةَ نُقودٍ عَلى دَرَجَةِ ٧،٥ سم من ٱلمِسْطَرَةِ تَتَوازَنُ مَعَ قِطْعَةِ نُقودٍ مُماثِلَةٍ عَلى ٱلدَّرَجَةِ ٢٢،٥ سم مِنْها. فَٱلمِسْطَرَةُ إِذًا تَتَوازَنُ بِتَأْثيرِ أَوْزانٍ أَو قِوًى مُتَساوِيَةٍ مُثَبَّتَةٍ على مَسافاتٍ مُتَساوِيَةٍ بِٱلنِّسْبَةِ إلى مَرْكَزِ ٱلتَّوازُنِ.

وَٱلآنَ ماذا لَوْ حاوَلْتَ مُوازَنَةَ قِطْعَةِ نُقودٍ واحِدَةٍ على عَلامَةِ ٱلصِّفْرِ بِقِطَعٍ تَضَعُها عَلى ٱلدَّرَجَةِ ٱلمُرَقَّمَةِ ٢٢،٥ سم؟ إِنَّكَ سَتَحْتاجُ إلى قِطْعَتَيْ نُقودٍ عَلى دَرَجَة ٢٢،٥ سم مِنَ ٱلمِسْطَرَةِ لِلْحُصولِ عَلى هٰذا ٱلتَّوازُنِ. أَيْ إِنَّ تَقْليلَ ٱلبُعْدِ عَنِ ٱلمَرْكَزِ إلى ٱلنِّصْفِ يَقْتَضي مُضاعَفَةَ ٱلوَزْنِ أَوِ ٱلقُوَّةِ ٱللازِمَةِ لِلْحُصولِ عَلى ٱلتَّوازُنِ.

في هٰذِهِ ٱلأَمْثِلَةِ تَعْمَلُ قِطَعُ ٱلنُّقودِ عَلى تَدْويرِ ٱلمِسْطَرَةِ. وَهٰذا ٱلتَّأْثيرُ ٱلَّذي تُحاوِلُ بِهِ ٱلقُوَّةُ أَوِ ٱلوَزْنُ تَدْويرَ ٱلجِسْمِ ٱلَّذي تُسَلَّطُ عَلَيْهِ يُسَمّى **ٱلعَزْمَ**. قَدْ لاحَظْتَ في ٱلتَّجارِبِ ٱلَّتي أَجْرَيْتَها عَلى ٱلمِسْطَرَةِ أَنَّ ٱلعَزْمَ لا يَعْتَمِدُ عَلى مِقْدارِ ٱلقُوَّةِ فَقَطْ، بَل أَيْضًا على ٱلمَسافَةِ بَيْنَ تِلْكَ ٱلقُوَّةِ وَنُقْطَةِ ٱلتَّوازُنِ ٱلَّتي تُسَمّى **نُقْطَةَ ٱلاَرْتِكازِ**.

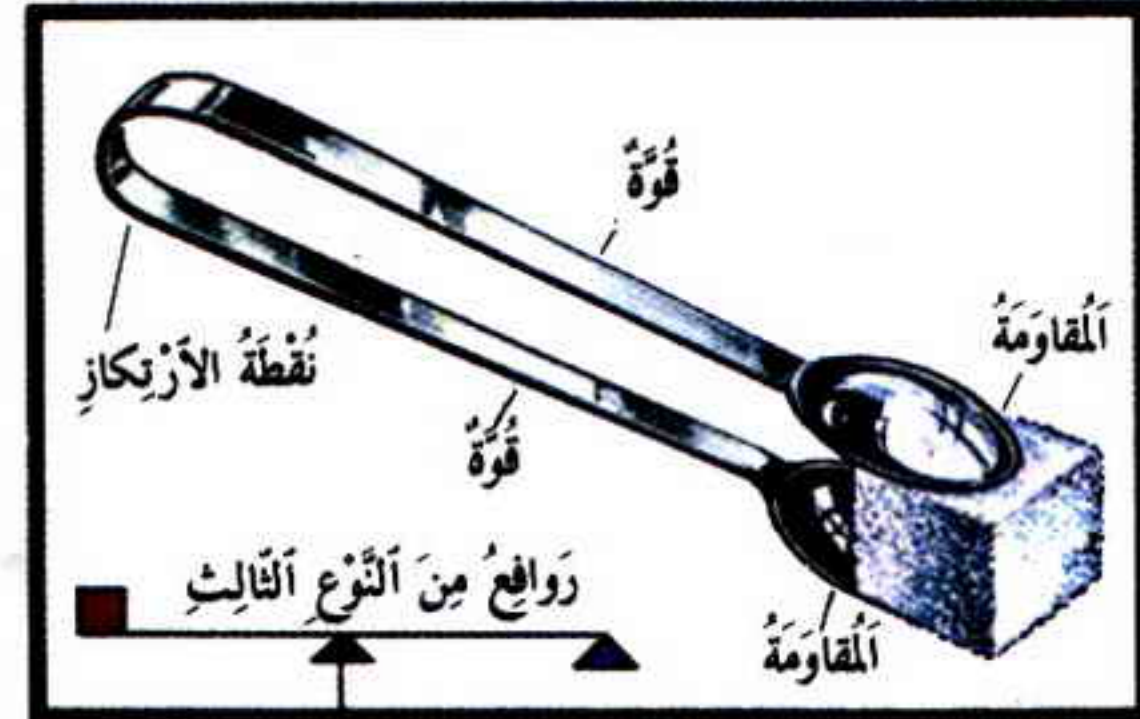
إِنَّ عَزْمَ أَيِّ قُوَّةٍ يُساوي تِلْكَ ٱلقُوَّةَ مَضْروبَةً في بُعْدِها عَنْ نُقْطَةِ ٱلاَرْتِكازِ. وَعِنْدَما تكونُ ٱلمِسْطَرَةُ في وَضْعِ ٱلتَّوازُنِ، فإنَّ عَزْمَيِ ٱلقُوَّتَيْنِ ٱلمُؤَثِّرَتَيْنِ يَجِبُ أَن يَكونا مُتَساوِيَيْنِ كي يُعادِلَ كُلٌّ مِنْهُما تَأْثيرَ ٱلآخَرِ. في ٱلمِثالِ ٱلأَخيرِ لِتَوازُنِ ٱلمِسْطَرَةِ كانَتْ هُناكَ قِطْعَةُ نُقودٍ واحِدَةٌ عَلى بُعْدِ ١٥ سم مِنْ مَرْكَزِ ٱلتَّوازُنِ، وَهٰذا يُعْطي عَزْمًا مِقْدارُهُ ١٥ × ١ = ١٥ وَحْدَةً. بَيْنَما كانَ في ٱلجانِبِ ٱلآخَرِ قِطْعَتا نُقودٍ تَبْعُدانِ ٧،٥ سم عَنْ نُقْطَةِ ٱلاَرْتِكازِ مِمّا يُعْطي عَزْمًا مِقْدارُهُ ٧،٥ × ٢ = ١٥ وَحْدَةً أَيْضًا، وَهٰذا يُفَسِّرُ تَوازُنَ ٱلمِسْطَرَةِ. جَرِّبْ أَوْزانًا وَمَسافاتٍ مُخْتَلِفَةً أُخْرى لِتَرى ما يَحْدُثُ.

إلى اليمين
مُخَطَّطاتُ ٱلْأَنْواعِ ٱلثَّلاثَةِ مِنَ ٱلرَّوافِعِ . لاحِظْ أَوضاعَ نُقْطَةِ ٱلتَّوازُنِ وَٱلحِمْلِ (ٱلمُقاوَمَةِ) وَٱلقُوَّةِ (ٱلجُهْدِ) في كُلٍّ مِنْها .

إلى اليمين
ٱلأُرْجوحَةُ ، وَٱلعَتَلَةُ (ٱلمُخْلُ) ، وَٱلمِسْطَرَةُ في ٱلوَضْعِ ٱلمُبَيَّنِ هُنا تَعْمَلُ كُلُّها كَرَوافِعَ مِنَ ٱلنَّوْعِ ٱلأَوَّلِ ، حَيْثُ تُحَرِّكُ حُمولَةً كَبيرَةً عَلى مَقْرُبَةٍ مِنَ ٱلمُرْتَكَزِ بِجُهْدٍ صَغيرٍ عَلى مَسافَةٍ أَبْعَدَ مِنْهُ .

إلى اليسار
عَرَبَةُ ٱليَدِ وَكَسّارَةُ ٱلجَوْزِ وَفَتّاحَةُ ٱلقَناني هِيَ أَمْثِلَةٌ عَلى رَوافِعَ مِنَ ٱلنَّوْعِ ٱلثّاني ٱلَّتي يَكونُ فيها ٱلحِمْلُ (أَوِ ٱلمُقاوَمَةُ) بَيْنَ ٱلقُوَّةِ ومِحْوَرِ ٱلارْتِكازِ .

إلى اليسار
مِلْقَطُ ٱلسُّكَّرِ هُوَ رافِعَةٌ مِنَ ٱلدَّرَجَةِ ٱلثّالِثَةِ حَيْثُ ٱلجُهْدُ (ٱلقُوَّةُ) بَيْنَ نُقْطَةِ ٱلارْتِكازِ وَٱلحِمْلِ (ٱلمُقاوَمَةِ) .

وَهٰذِهِ ٱلظّاهِرَةُ تُسْتَخْدَمُ في ٱلميزانِ ٱلبَسيطِ ذي ٱلكِفَّتَيْنِ كَميزانِ ٱلمَطْبَخِ ٱلَّذي نَضَعُ صَنجاتِ ٱلوَزْنِ عَلى إحْدى كِفَّتَيْهِ ، وَنَزِنُ ما نُريدُ وَزْنَهُ مِن طَعامٍ في ٱلكِفَّةِ ٱلأُخْرى ، فَعِنْدَ حُصولِ ٱلتَّوازُنِ يَكونُ ٱلعَزْمُ في كِفَّتَيِ ٱلميزانِ مُتَساوِيًا ، حَيْثُ إِنَّ بُعْدَهُما عَنْ نُقْطَةِ ٱلارْتِكازِ مُتَساوٍ .

وَجَديرٌ بِٱلذِّكْرِ في هٰذا ٱلمَجالِ أَنَّهُ في أَيِّ نِظامٍ مُتَوازِنٍ يَكونُ مَجْموعُ عُزومِ ٱلقِوى ٱلمُؤَثِّرَةِ في ٱتِّجاهٍ ما مُساوِيًا لِمَجْموعِ عُزومِ ٱلقِوى ٱلمُقاوِمَةِ لِذٰلِكَ ٱلتَّأْثيرِ .

وَٱلرّافِعَةُ هِيَ تَطْبيقٌ آخَرُ عَلى مَبْدَإِ ٱلعُزومِ . فَبِٱسْتِطاعَتِكَ مَثَلًا أَنْ تُزَحْزِحَ صَخْرَةً مِنْ مَقَرِّها مُسْتَعْمِلًا مُخْلًا أَو عَتَلَةً وَذٰلِكَ لِأَنَّكَ تَبْذُلُ قُوَّةً في طَرَفِ ٱلعَتَلَةِ أَبْعَدَ كَثيرًا عَنْ نُقْطَةِ ٱلارْتِكازِ مِنْ بُعْدِ ٱلصَّخْرَةِ عَنْها . وَهٰذا يُنْتِجُ عَزْمًا أَكْبَرَ بِكَثيرٍ مِنَ ٱلعَزْمِ ٱلَّذي كُنْتَ تَسْتَطيعُهُ بِمُحاوَلَتِكَ زَحْزَحَةَ ٱلصَّخْرَةِ مُباشَرَةً .

هُنالِكَ ثَلاثَةُ أَنْواعٍ مِنَ ٱلرَّوافِعِ . ٱلأَوَّلُ هُوَ حَيْثُ تَكونُ نُقْطَةُ ٱلارْتِكازِ بَيْنَ ٱلمُقاوَمَةِ (ٱلحِمْلِ) وَٱلقُوَّةِ . وَٱلثّاني تَكونُ نُقْطَةُ ٱلارْتِكازِ فيهِ في أَحَدِ ٱلطَّرَفَيْنِ وَٱلقُوَّةُ في ٱلطَّرَفِ ٱلثّاني ، وَٱلحِمْلُ (ٱلمُقاوَمَةُ) بَيْنَ ٱلاثْنَيْنِ كَما في عَرَبَةِ ٱليَدِ . وَفي ٱلنَّوْعِ ٱلثّالِثِ ، تَكونُ نُقْطَةُ ٱلارْتِكازِ في أَحَدِ ٱلطَّرَفَيْنِ وَٱلمُقاوَمَةُ أَوِ ٱلحِمْلُ في ٱلطَّرَفِ ٱلآخَرِ ، وَتُؤَثِّرُ ٱلقُوَّةُ بَيْنَ ٱلاثْنَيْنِ كَما في ٱلمِلْقَطِ .

الآلاتُ (أوِ المكنات)

لَيسَتِ الآلاتُ بالضَّرورةِ مُعقَّدةً، وَالمُعقَّدةُ مِنْها هِيَ في الواقعِ مَجْموعةٌ من الآلاتِ لا آلةٌ واحِدةٌ. فالآلةُ ببَساطَةٍ هيَ وَسيلَةٌ للتَّغَلُّبِ على مُقاوَمَةٍ في مَوْضِعٍ ما بِقُوَّةٍ تُؤثِّرُ في مَكانٍ آخَرَ. فالسِّكّينُ مَثَلًا هي آلةٌ بَسيطَةٌ تَضْغَطُ عَلى مِقْبَضِها فتَحْصُلُ عَلى قُوَّةِ قَطْعٍ في نَصْلِها. وَكَذٰلِكَ المِطْرَقَةُ المِخْلَبِيَّةُ المُسْتَعْمَلَةُ لِنَزْعِ المَسامير فَهِيَ أَيْضًا آلةٌ بَسيطَةٌ. وَالواقِعُ أَنَّ كِلْتا هاتَيْنِ الآلتَيْنِ هُما أَيْضًا رافِعَتانِ.

وَالبَكَرَةُ أَيْضًا هِيَ مِثالٌ آخَرُ عَلى الآلَةِ البَسيطَةِ. وَهِيَ مُفيدَةٌ لِأَنَّها تُمَكِّنُ مِنْ رَفْعِ حِمْلٍ ثَقيلٍ بِالشَّدِّ إلى الأَسْفَلِ، وَهكذا نَسْتَطيعُ اسْتِخْدامَ قُوَّةِ الجاذِبِيَّةِ الأَرْضِيَّةِ المُؤَثِّرَةِ على أَجْسامِنا، في عَمَلِيَّةِ الرَّفْعِ. فَالمَعْروفُ أَنَّهُ مِنَ الأَسْهَلِ رَفْعُ مُحَرِّكِ سَيّارَةٍ مِنْ مَوْقِعِهِ بِواسِطَةِ البَكَرَةِ بَدَلًا مِنْ رَفْعِهِ بِاليَدَيْنِ فَقَطْ.

وَحَيْثُما بِالإمْكانِ رَفْعُ حُمولَةٍ ثَقيلَةٍ بِجُهْدٍ أَقَلَّ فَهُنالِكَ طَبْعًا فائِدَةٌ عَمَلِيَّةٌ، وَهٰذِهِ الفائِدَةُ العَمَلِيَّةُ تُسَمّى **الفائِدَةَ الآلِيَّةَ**، وَهِيَ تُساوي حاصِلَ قِسْمَةِ الحُمولَةِ عَلى الجُهْدِ. فَكُلَّما كَبُرَتِ الحُمولَةُ الَّتي يُمْكِنُ رَفْعُها بِجُهْدٍ ما، زادَتِ الفائِدَةُ الآلِيَّةُ.

لكِنَّنا لا نَحْصُلُ عَلى هٰذِهِ الفائِدَةِ الآلِيَّةِ دُونَ مُقابِلٍ. فَالبَكَرَةُ تُمَكِّنُنا مِنْ رَفْعِ حُمولَةٍ ثَقيلَةٍ بِقُوَّةٍ بَسيطَةٍ، لكِنَّهُ يَتَوَجَّبُ شَدُّ حَبْلِ البَكَرَةِ إلى الأَسْفَلِ مَسافَةً أَطْوَلَ مِنَ المَسافَةِ الَّتي تَرْتَفِعُها الحُمولَةُ إلى أَعْلى. أي إنَّ الجُهْدَ المَبْذولَ يَتَحَرَّكُ مَسافَةً أَطْوَلَ مِنَ المَسافَةِ الَّتي تَقْطَعُها الحُمولَةُ. وَفي الواقِعِ، إنَّ كَمِّيَّةَ **الشُّغْلِ** المَبْذولِ لِرَفْعِ حُمولَةٍ ما بِواسِطَةِ البَكَرَةِ لَيْسَتْ أَقَلَّ مِنَ الكَمِّيَّةِ المَبْذولَةِ لِرَفْعِها مُباشَرَةً. وَيُعَرَّفُ الشُّغْلُ في عِلْمِ الفيزْياءِ، بِأَنَّهُ حاصِلُ ضَرْبِ القُوَّةِ المُؤَثِّرَةِ، في المَسافَةِ الَّتي يَقْطَعُها الجِسْمُ بِتَأْثيرِ تِلْكَ القُوَّةِ. فإذا أَمْكَنَ رَفْعُ مُحَرِّكِ سَيّارَةٍ وَزْنُهُ ١٠٠ كيلوغرام مَسافَةَ مِتْرَيْنِ بِقُوَّةٍ مِقْدارُها ٥٠ كيلوغرامًا عَلى حَبْلِ مَجموعَةِ بَكَراتٍ، فإنَّهُ يَتَعَيَّنُ أَنْ تَتَحَرَّكَ هٰذِهِ القُوَّةُ مسافَةَ ٤ أَمْتارٍ. فَنَقولُ إنَّ شُغْلَ القُوَّةِ يُساوي شُغْلَ المُقاوَمَةِ.

لكنَّ الحُصولَ عَلى مِثْلِ هٰذِهِ الأَرْقامِ عَمَلِيًّا هُوَ أَمْرٌ غَيْرُ مُمْكِنٍ لأَنَّ ذٰلِكَ يَعْني أَنَّ فَعالِيَةَ الآلَةِ (أَيْ مَرْدودَها) ١٠٠ في المِئَةِ. وَالواقِعُ أَنَّ بَعْضَ الشُّغْلِ الَّذي تَبْذُلُهُ القُوَّةُ يُسْتَخْدَمُ لِمُقاوَمَةِ الاحْتِكاكِ، وَيُعْتَبَرُ شُغْلًا ضائِعًا. فَمَرْدودُ أَيِّ آلَةٍ يُساوي كَمِّيَّةَ الشُّغْلِ المُسْتَخْدَمِ فِعْلًا في تَحْريكِ الحُمولَةِ مَقْسومَةً عَلى كَمِّيَّةِ الشُّغْلِ الَّذي تَبْذُلُهُ القُوَّةُ. وَيُضْرَبُ المَرْدودُ عادَةً في ١٠٠ وَيُعْطى كَنِسْبَةٍ مِئَوِيَّةٍ. وهكذا فإنَّ مَرْدودَ أيِّ آلَةٍ لا يُمْكِنُ أَنْ يَزيدَ عَلى ١٠٠ بِالمائَةِ، وَهُوَ في الواقِعِ دائمًا أَقَلُّ من ذٰلِكَ.

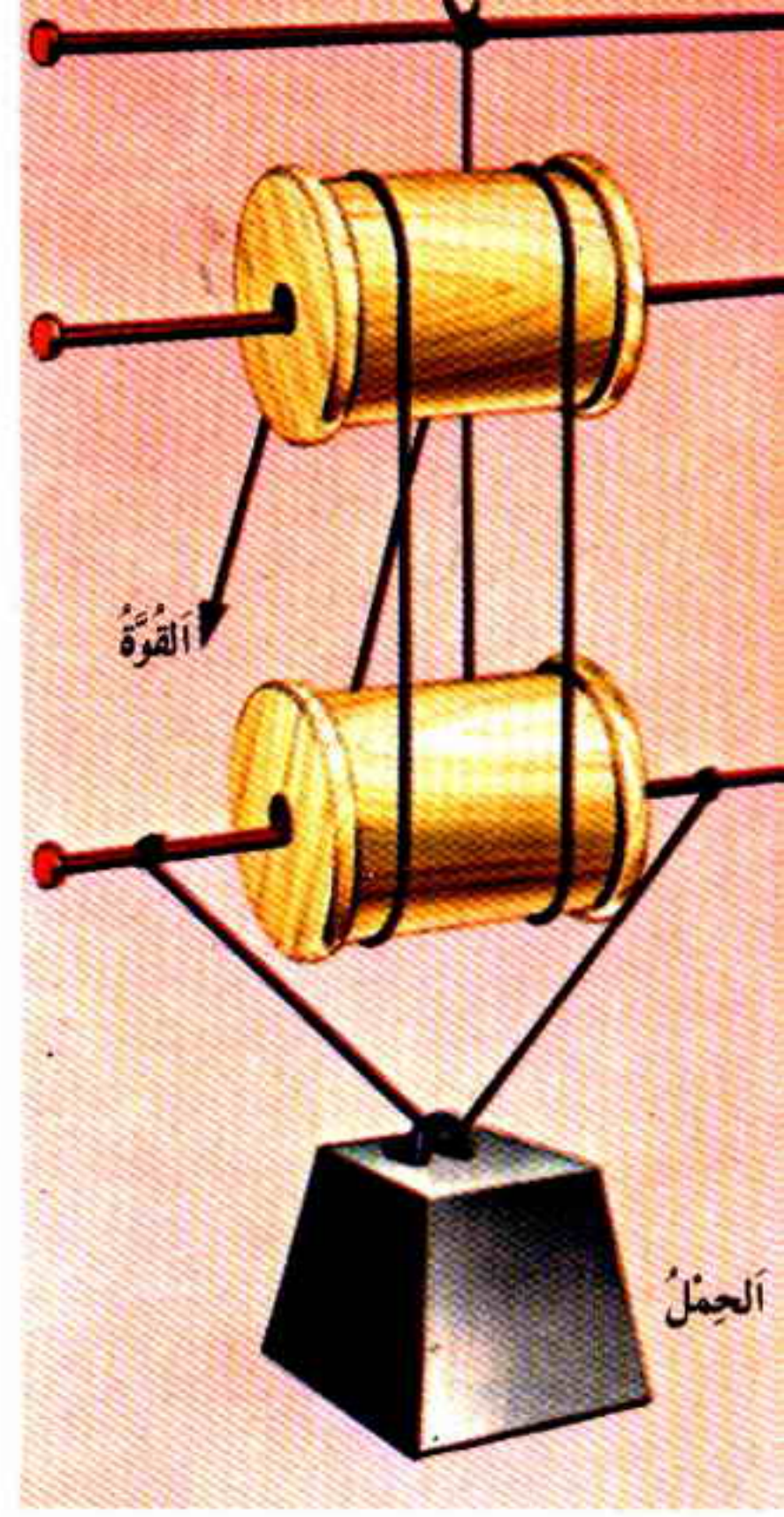
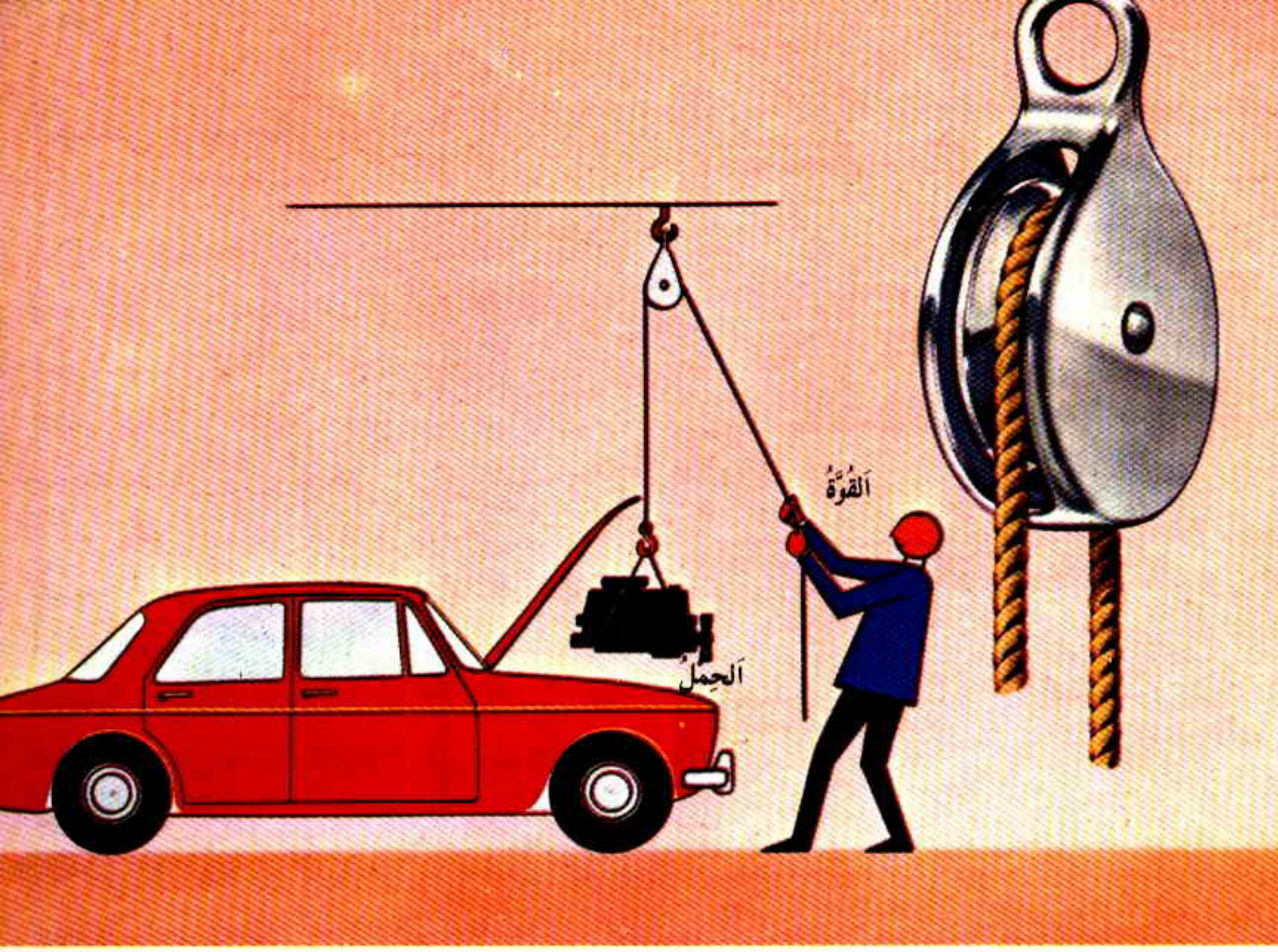
وَمِنَ الآلاتِ الَّتي تَتَحَرَّكُ فيها القُوَّةُ مَسافَةً أَطْوَلَ مِنَ الحِمْلِ اللَّوْلَبُ. وَهُنا أَيْضًا يُنْتِجُ الجُهْدُ القَليلُ قُوَّةً كَبيرَةً. فَلِكُلِّ دَوْرَةٍ كامِلَةٍ يَدورُها المِفَكُّ يَنْغَرِزُ المِسْمارُ المُلَوْلَبُ سِنًّا واحِدَةً داخِلَ الخَشَبِ مُجابِهًا قُوَّةَ احْتِكاكٍ كَبيرَةً ما كانَ يُمْكِنُنا التَّغَلُّبُ عَلَيْها دونَ المِفَكِّ. وَيَعْمَلُ مِرْفاعُ السَّيّارَةِ اللَّوْلَبِيُّ حَسَبَ المَبْدَإِ نَفْسِهِ. فَلِكُلِّ دَوْرَةٍ كامِلَةٍ يَدورُها مِقْبَضُ المِرْفاعِ اللَّوْلَبِيُّ لا تَرْتَفِعُ السَّيّارَةُ إلّا بِمِقْدارٍ بَسيطٍ هُوَ مَدى السِّنِّ الواحِدَةِ لِعَمودِ المِرْفاعِ.

وَالمُسَنَّناتُ (التُّروس) أَيْضًا تُعْتَبَرُ مِنَ الآلاتِ وَهِيَ تَسْتَطيعُ العَمَلَ بِطَريقَتَيْنِ، فَبِإِمْكانِها إِنْتاجُ قِوًى كَبيرَةٍ مِنْ أُخْرى صَغيرَةٍ أَوْ إِنْتاجُ قِوًى صَغيرَةٍ مِنْ أُخْرى كَبيرَةٍ.

فَوقُ

ليوناردو دافِنْشي (١٤٥٢ – ١٥١٩) عاشَ في إيطاليا وكانَ مُوسيقِيًّا وَرَسّامًا وَنحّاتًا وَمُهَنْدِسًا وَلَقَدْ حاوَلَ تَصْميمَ عَدَدٍ كَبيرٍ مِنَ الآلاتِ المُعَقَّدَةِ كانَتِ الطّائِرَةُ إِحْداها.

في الأَسْفَلِ

تُسْتَخْدَمُ السِّكّينُ وَالمِطْرَقَةُ كِلْتاهُما كآلَتَيْنِ بَسيطَتَيْنِ لِلتَّغَلُّبِ عَلى المُقاوَمَةِ بِاسْتِخْدامِ الرَّوافِعِ.

فوقُ

حاولْ أنْ تَصنعَ مَجموعةَ ٱلبَكَراتِ هٰذِهِ بِنفسِكَ مُستَخدِمًا مِكَبّاتِ خُيوطٍ قُطنيَّةٍ وَخيطانًا وَإبَرَ حِياكَةٍ.

في أعلى اليسار

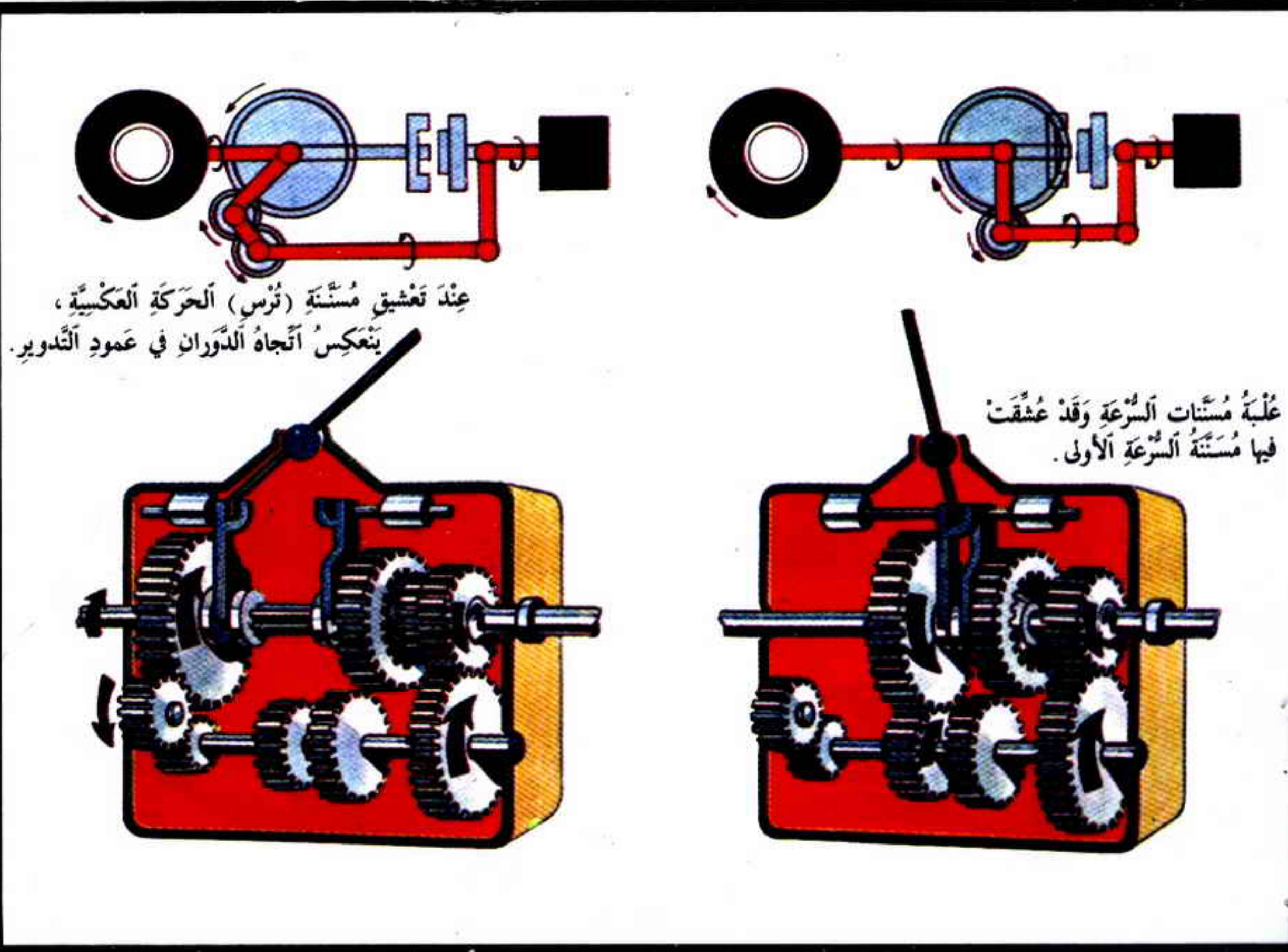
حَتّى ٱلبَكَرةُ ٱلبسيطةُ مُفيدةٌ لِأنَّها تُمكِّنُنا مِنَ ٱلشَّدِّ بِثِقَلِ ٱلجِسْمِ كَقُوَّةٍ. هُنا تُستَخدَمُ ٱلبَكَرةُ ٱلبسيطةُ في رَفعِ مُحَرِّكِ ٱلسَّيّارَةِ مِنْ مَكانِهِ.

في ٱلأعلى

هُنالِكَ طَريقَتانِ بَسيطَتانِ لِرَفعِ مِدْحَلَةِ ٱلحَديقَةِ فَوقَ دَرَجَةٍ ٱرتِفاعُها عِشْرونَ سَنتيمترًا. ٱلأولى بِرَفعِها عَموديًّا عَنِ ٱلأرضِ، وَهِيَ طَريقَةٌ صَعْبَةُ ٱلتَّحقيقِ وَخَطِرَةٌ في ٱلوَقتِ ذاتِهِ. أمّا ٱلطَّريقَةُ ٱلثّانِيَةُ فَتَتِمُّ بِدَحْرَجَةِ ٱلمِدْحَلَةِ فَوقَ لَوحٍ خَشَبِيٍّ سَميكٍ. وَيُعْتَبَرُ ٱللَّوحُ ٱلخَشَبِيُّ (ٱلسَّطْحُ ٱلمائلُ) في هٰذِهِ ٱلحالَةِ آلَةً تُمكِّنُنا مِنَ ٱلتَّغَلُّبِ على مُقاوَمَةٍ كَبيرَةٍ (وَزنِ ٱلمِدْحَلَةِ) بِجُهْدٍ بَسيطٍ (ٱلقُوَّةِ ٱللّازِمَةِ لِدَحْرَجَةِ ٱلمِدْحَلَةِ فَوقَ ٱللَّوحِ ٱلخَشَبِيِّ). وَيُلاحَظُ أنَّ ٱلقُوَّةَ ٱللّازِمَةَ لِدَحْرَجَةِ ٱلمِدْحَلَةِ أصْغَرُ مِنَ ٱلقُوَّةِ ٱللّازِمَةِ لِرَفعِها وَلٰكِنَّها تَعْمَلُ مَسافَةً أطْوَلَ.

إلى ٱليَمينِ

تُستَعمَلُ ٱلمُسَنَّناتُ (ٱلتُّروسُ) لِنَقلِ ٱلقِوى مِنَ ٱلمُحَرِّكِ إلى ٱلعَجَلاتِ. كَما إنَّها تُغَيِّرُ مِقدارَ هٰذِهِ ٱلقِوى حَسَبَ ٱلمُقاوَمَةِ (كَصُعودِ هَضْبَةٍ ما مَثَلًا) فَعِنْدَما تَبْدَأُ ٱلسَّيّارَةُ صُعودَ هَضْبَةٍ مَثَلًا يَدورُ ٱلمُحَرِّكُ بِسُرْعَةٍ لٰكِنَّ ٱلدَّواليبَ تَدورُ بِبُطءٍ.

عِنْدَ تَعشيقِ مُسَنَّنَةِ (تُرْسِ) ٱلحَرَكَةِ ٱلعَكْسِيَّةِ، يَنْعَكِسُ ٱتِّجاهُ ٱلدَّورانِ في عَمودِ ٱلتَّدويرِ.

عُلْبَةُ مُسَنَّناتِ ٱلسُّرْعَةِ وَقَدْ عُشِّقَتْ فيها مُسَنَّنَةُ ٱلسُّرْعَةِ ٱلأولى.

اَلنَّوابِضُ وَالْمُرونَةُ

إذا ما سُئِلْتَ عن مادَّةٍ مَرِنَةٍ فَمِنَ ٱلْمُحْتَمَلِ جدًّا أن يَتَّجِهَ تَفْكيرُكَ إلى ٱلْمَطّاطِ. فَٱلرِّباطُ ٱلْمَطّاطِيُّ يَسْهُلُ شَدُّهُ بِٱلْمَطِّ، وَسُرْعانَ ما يَسْتَعيدُ وَضْعَهُ ٱلسّابِقَ عِنْدَ إفْلاتِهِ. كَذٰلِكَ إذا ما ضَغَطْتَ قِطْعَةَ مَطّاطٍ لِجَعْلِها أَصْغَرَ حَجْمًا، فإنَّها تَرْتَدُّ إلى حَجْمِها ٱلْأَصْلِيِّ حالما يَزولُ ٱلضَّغْطُ عَنْها. وَهٰذانِ ٱلْمِثالانِ يُوضِحانِ ما نَعْنيهِ بِٱلْمُرونَةِ. فَٱلْعُلَماءُ يَعْتَبِرونَ ٱلْجِسْمَ مَرِنًا إذا كانَ بِإمْكانِهِ ٱسْتِعادَةُ حَجْمِهِ وَشَكْلِهِ ٱلْأَصْلِيَّيْنِ بِسُهولَةٍ بَعْدَ تَغَيُّرِهِما. فَٱلْمَطّاطُ إذًا مادَّةٌ مَرِنَةٌ وكذٰلِكَ ٱلْفولاذُ وَٱلزُّجاجُ. أَمّا ٱلطّينُ وَٱلْمَعاجينُ فَأَجْسامٌ **لامَرِنَةٌ أو غَيْرُ مَرِنَةٍ** لِأَنَّها لا تَسْتَعيدُ شَكْلَها ٱلْأَصْلِيَّ بَعْدَ زَوالِ ٱلْمُؤَثِّرِ. وَفِلِزّ ٱلْألومنيوم وَٱلنُّحاسِ أَقَلُّ مُرونَةً مِنَ ٱلْفولاذِ وَٱلزُّجاجِ لكِنَّهُما أكْثَرُ مُرونَةً مِنَ ٱلطّينِ ٱللَّدْنِ وَٱلْمَعاجينِ ٱلْمُخْتَلِفَةِ.

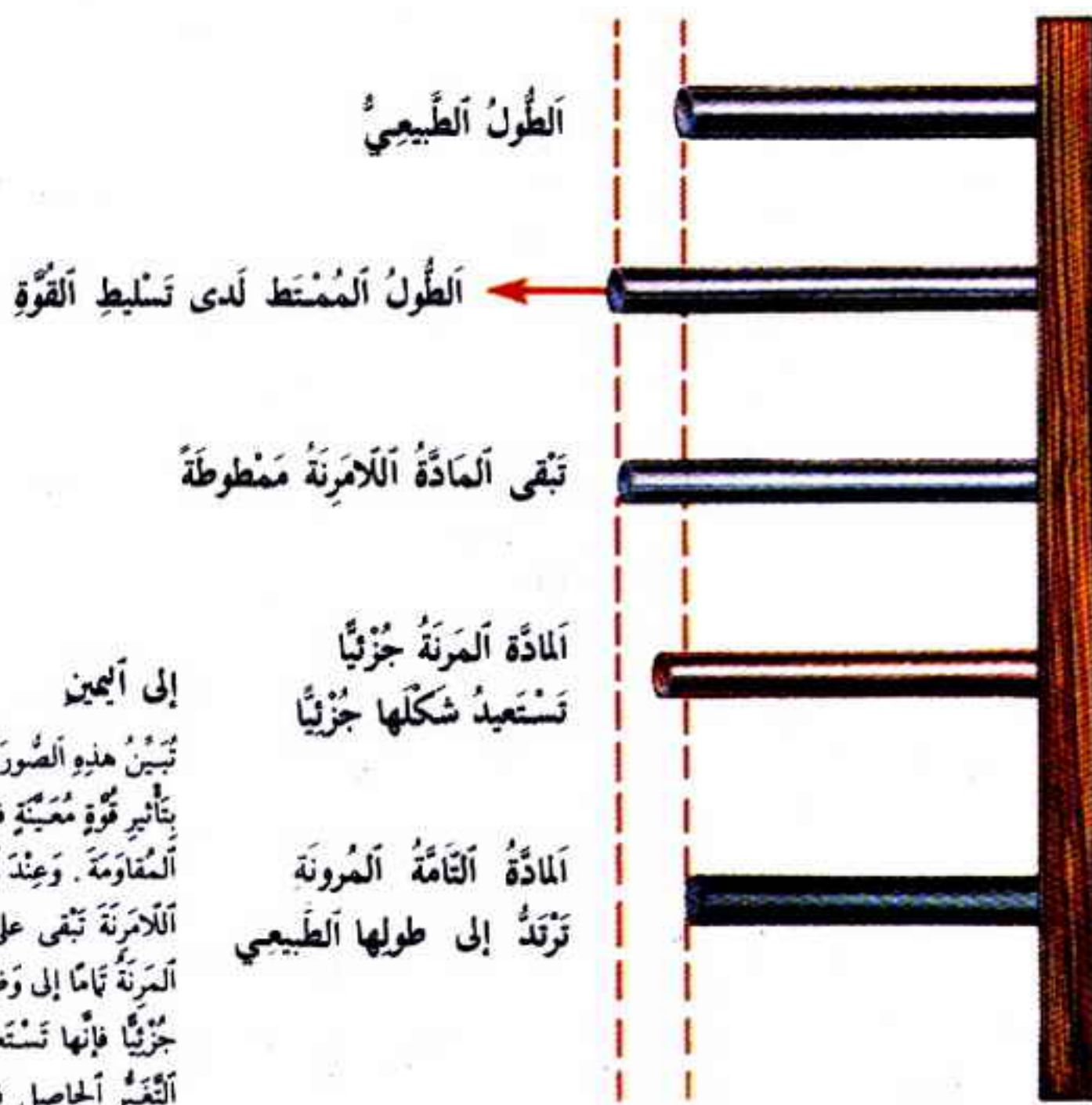
وَلِتَغْييرِ حَجْمِ أَيِّ جِسْمٍ يَتَوَجَّبُ تَسْليطُ قُوَّةٍ عَلَيْهِ. وَكُلَّما كَبُرَتِ ٱلْقُوَّةُ ٱلْمُؤَثِّرَةُ كانَ تَغَيُّرُ حَجْمِ ٱلْجِسْمِ أو شَكْلِهِ أَعْظَمَ. فَٱلْقُوَّةُ ٱلْمُسَلَّطَةُ عَلى ٱلرِّباطِ ٱلْمَطّاطِيِّ تَمُطُّهُ وَتَزيدُ من طُولِهِ. إنَّ ضَغْطَ قِطْعَةِ ٱلْمَطّاطِ يَجْعَلُها أَصْغَرَ حَجْمًا **بِالْانْضِغاطِ**. كَذٰلِكَ بِإمْكانِكَ حَنْيُ مِسْطَرَةٍ خَشَبِيَّةٍ بِمِقْدارٍ بَسيطٍ، وَٱلْحِنايَةُ مَزيجٌ مِنَ ٱلْانْضِغاطِ وَٱلْامْتِطاطِ. فَٱلسَّطْحُ ٱلْعُلْوِيُّ لِلْمِسْطَرَةِ ٱلْخَشَبِيَّةِ يَمْتَطُّ بَيْنَما يَنْضَغِطُ سَطْحُها ٱلسُّفْلِيُّ. وَكانَتْ خاصَّةُ ٱلْمُرونَةِ في ٱلْموادِّ مَوْضِعَ دَرْسٍ وَٱسْتِقْصاءٍ في ٱلْقَرْنِ ٱلسّابِعَ عَشَرَ من قِبَلِ العالِمِ ٱلإنكليزيِّ روبرت هُوك (١٦٣٥ – ١٧٠٣)، أَحَدِ كِبارِ عُلَماءِ ٱلْعَصْرِ، فَبِالإضافَةِ إلى أَبْحاثِهِ عَنِ ٱلْمُرونَةِ أَجْرى هُوك أَبْحاثًا في حَقْلَيِ ٱلضَّوْءِ وَٱلْفَلَكِ. وَٱشْتُهِرَ بِتَصْميمِ وَصُنْعِ أَجْهِزَةٍ عِلْمِيَّةٍ كَثيرَةٍ كَٱلْمِجْهَرِ وَٱلتِّلِسْكوبِ العاكِسِ، كَما ٱخْتَرَعَ نابِضَ (زُنْبَرَكَ) ٱلْمُوازَنَةِ لِضَبْطِ حَرَكَةِ ٱلسّاعاتِ ٱلصَّغيرَةِ.

هُنالِكَ طَريقَةٌ بَسيطَةٌ لِمَعْرِفَةِ مِقْدارِ مُرونَةِ ٱلْأَجْسامِ تَعْتَمِدُ عَلى مَدى ٱرْتِدادِ ٱلْجِسْمِ عِنْدَ إسْقاطِهِ (أو طَجِّهِ) عَلى سَطْحٍ صَلْدٍ، فَإذا ما أُسْقِطَتْ بِلْيَةٌ (أو كُلَّةٌ) زُجاجِيَّةٌ عَلى أَرْضٍ قاسِيَةٍ فإنَّها تَرْتَدُّ إلى ٱرْتِفاعٍ غَيْرِ قَليلٍ. وَكُلَّما كانَتْ سُرْعَةُ ٱلْارْتِطامِ أَكْبَرَ كانَ مَدى ٱلْارْتِدادِ أَعْلى.

أَمّا إذا أُسْقِطَتْ كُرَةٌ مِنَ ٱلطّينِ ٱللَّدْنِ (البلاستيسين) بِحَجْمِ ٱلْكُلَّةِ فإنَّها لا تَرْتَدُّ أَبَدًا، بَلْ تَتَفَلْطَحُ فَقَطْ. وَالواقِعُ أَنَّ شَكْلَ ٱلْكُلَّةِ ٱلسّاقِطَةِ يَتَشَوَّهُ قَليلًا، لكِنَّها لِشِدَّةِ مُرونَتِها تَسْتَعيدُ شَكْلَها ٱلْأَصْلِيَّ وَتَرْتَدُّ عالِيًا. وَٱلْجَديرُ بِٱلْمُلاحَظَةِ هُنا أَنَّ ٱلْكُلَّةَ لا تَرْتَدُّ إلى ٱلْعُلُوِّ ٱلَّذي أُسْقِطَتْ

ٱلطُّولُ ٱلطَّبيعِيُّ

ٱلطُّولُ ٱلْمُمْتَطّ لَدى تَسْليطِ ٱلْقُوَّةِ

تَبْقى ٱلْمادَّةُ ٱللّامَرِنَةُ مَمْطوطَةً

ٱلْمادَّةُ ٱلْمَرِنَةُ جُزْئِيًّا تَسْتَعيدُ شَكْلَها جُزْئِيًّا

ٱلْمادَّةُ ٱلتّامَّةُ ٱلْمُرونَةِ تَرْتَدُّ إلى طولِها ٱلطَّبيعِيِّ

إلى ٱليَمينِ

تُبَيِّنُ هٰذِهِ ٱلصّورَةُ ما يَحْدُثُ عِنْدَ مَطِّ قَضيبٍ ما بِتَأْثيرِ قُوَّةٍ مُعَيَّنَةٍ فيهِ. هٰذِهِ ٱلْقُوَّةُ تُسَمّى ٱلْحِمْلَ أَوِ ٱلْمُقاوَمَةَ. وَعِنْدَ زَوالِ تَأْثيرِ هٰذِهِ ٱلْقُوَّةِ فإنَّ ٱلْمَوادَّ ٱللّامَرِنَةَ تَبْقى على ما هِيَ عَلَيْهِ. بَيْنَما تَعودُ ٱلْموادُّ ٱلْمَرِنَةُ تَمامًا إلى وَضْعِها ٱلْأَصْلِيِّ. أَمّا ٱلْمَوادُّ ٱلْمَرِنَةُ جُزْئِيًّا فإنَّها تَسْتَعيدُ وَضْعَها جُزْئِيًّا أي إنَّ بَعْضَ ٱلتَّغَيُّرِ ٱلْحاصِلِ فيها يَبْقى دائمًا.

ٱلنِّصْفُ ٱلْعُلْوِيُّ مَمْطوط

ٱلنِّصْفُ ٱلسُّفْلِيُّ مُنْضَغِط

إلى ٱليَمينِ

عِنْدَما يُعَلَّقُ جِسْمٌ ما مِنْ نِهايَةِ عارِضَةٍ خَشَبِيَّةٍ فإنَّها تَنْثَني. وَفي هٰذِهِ ٱلْأَثْناءِ يَتَمَدَّدُ ٱلنِّصْفُ ٱلْعُلْوِيُّ لِلْعارِضَةِ بَيْنَما يَنْضَغِطُ ٱلنِّصْفُ ٱلسُّفْلِيُّ لَها.

في ٱلْأَسْفَلِ

تُسْتَعْمَلُ ٱلنَّوابِضُ ٱللَّوْلَبِيَّةُ في ٱلْمَوازينِ ٱلزُّنْبُرَكِيَّةِ لِقِياسِ ٱلْأَوْزانِ. يَمْتَطُّ ٱلنّابِضُ بِمِقْدارٍ يَتَناسَبُ وَكَمِّيَّةَ ٱلْوَزْنِ. فَوَزْنُ ١٠ غرام مَثَلًا يَمُطُّ ٱلميزانَ ضِعْفَ ما يَمُطُّهُ وَزْنُ ٥ غرام. وَيُدَلُّ عَلى ٱلْوَزْنِ بِواسِطَةِ مُؤَشِّرٍ يَتَحَرَّكُ أَمامَ قِياسٍ مُدَرَّجٍ.

صفر 0

٥ 5

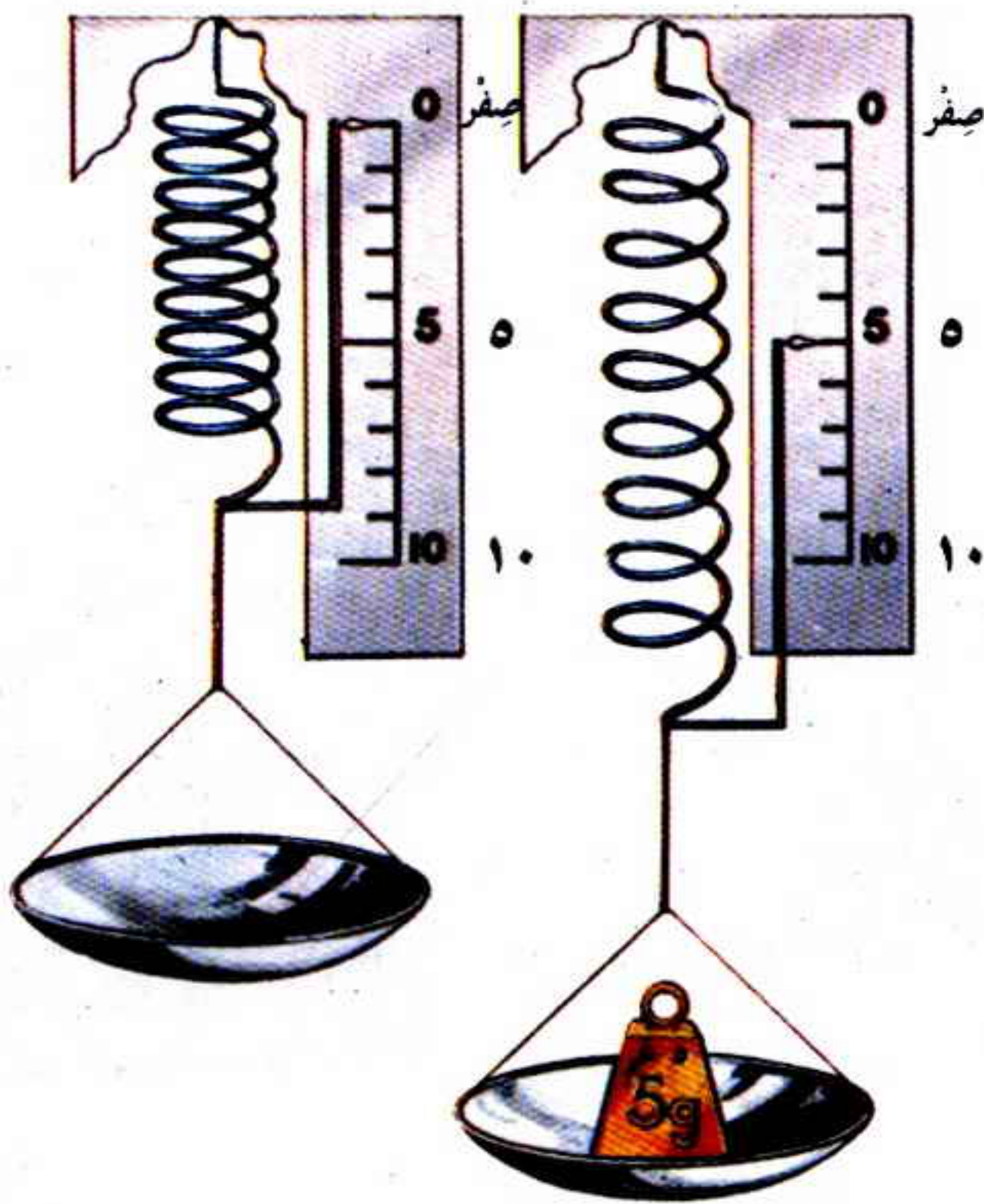
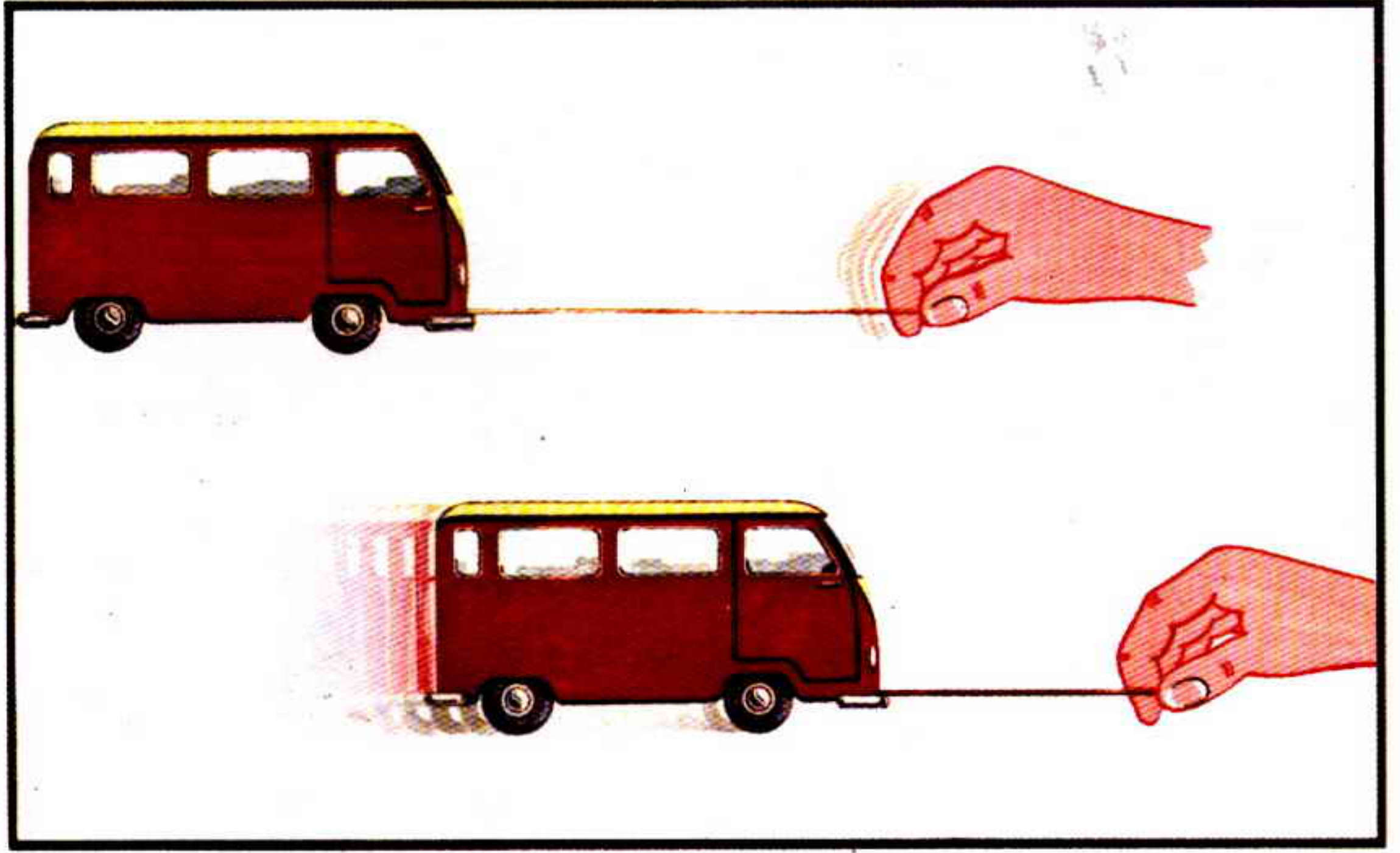
١٠ 10

صفر 0

٥ 5

١٠ 10

5g

إلى اليمين

جُرُّ سَيّارَةٍ دُمْيَةٍ بواسِطَةِ شَريطٍ مَطّاطِيٍّ. فَلِأَجْلِ أنْ تَبْدَأَ السَّيّارَةُ بِالتَّحَرُّكِ عَلَيْكَ أنْ تَمُطَّ الشَّريطَ أكْثَرَ فَأكْثَرَ وَهٰذا يُكْسِبُهُ طاقَةً كامِنَةً. وَعِنْدَ تَحَرُّكِ السَّيّارَةِ نَحْوَ الأمامِ تَتَسارَعُ بِفِعْلِ عَوْدَةِ الشَّريطِ المَطّاطِيِّ إلى طُولِهِ الأصْلِيِّ. أي إنَّ الطّاقَةَ الكامِنَةَ قَدْ تَحَوَّلَتْ إلى السَّيّارَةِ بِشَكْلِ طاقَةٍ حَرَكِيَّةٍ.

مِنْهُ لِأَنَّ قِسْمًا مِنْ طاقَتِها يُفْقَدُ في أثْناءِ الارْتِدادِ.

تُسْتَخْدَمُ المَوادُّ المَرِنَةُ لِأَغْراضٍ كَثيرَةٍ. فَالخَشَبُ المَرِنُ اسْتُخْدِمَ قَديمًا، وَلا يَزالُ يُسْتَخْدَمُ، في صُنْعِ الأقْواسِ لِرَمْيِ السِّهامِ. كَما تُتَّخَذُ مِنْهُ ألْواحُ مِنَصّاتِ الغَطْسِ في المَسابِحِ. وَلِلنَّوابِضِ الفُولاذِيَّةِ اسْتِعْمالاتٌ عَديدَةٌ أيْضًا. فَهِيَ تُسْتَخْدَمُ في السّاعاتِ المُخْتَلِفَةِ، وفي الأسِرَّةِ وَالكَنَباتِ، وَفي هَياكِلِ عَرَباتِ السِّكَكِ الحَديدِيَّةِ وَالسَّيّاراتِ لِتَخْميدِ الارْتِجاجِ وَجَعْلِ السَّفَرِ فيها مُريحًا. وَتُساعِدُ مُرونَةُ الإطاراتِ المُعَبَّأَةِ بِالهَواءِ في السَّيّاراتِ أيْضًا عَلى تَحْقيقِ هٰذِهِ الغايَةِ، فَالهَواءُ المَضْغوطُ فيها يَجْعَلُها مَرِنَةً جِدًّا. فَعِنْدَما تَمُرُّ السَّيّارَةُ فَوقَ مَطَبٍّ تَتَشَوَّهُ إطاراتُها، فَتُخَمِّدُ الارْتِجاجَ، لكِنَّها سُرعانَ ما تَسْتَعيدُ شَكْلَها الأصْلِيَّ لِمُرونَتِها.

إلى اليمين

نَصِفُ هُنا ثَلاثَةً فَقَطْ مِنَ الاسْتِعْمالاتِ العَديدَةِ لِلنَّوابِضِ. فَهِيَ تُسْتَعْمَلُ في حَشايا الأسِرَّةِ (الفَرْشاتِ) حَيْثُ تَنْضَغِطُ إذا ما تَمَدَّدَ شَخْصٌ فَوقَها. كَما تُسْتَعْمَلُ النَّوابِضُ الصَّفائِحِيَّةُ في أجْهِزَةِ تَعْليقِ بَعْضِ السَّيّاراتِ. وَهِيَ تَتَأَلَّفُ من صَفائِحَ فُولاذِيَّةٍ مُتَعَدِّدَةٍ، مُتَّصِلٌ بَعْضُها بِبَعْضٍ، تَعْمَلُ بِالانْثِناءِ. وَيَتَأَلَّفُ نابِضُ السّاعَةِ مِنْ مِلَفٍّ مُسَطَّحٍ مَشْدودِ اللَّفّاتِ يَنْحَلُّ تَدْريجِيًّا لِيُديرَ آلِيَّةَ السّاعَةِ.

إلى ٱلأسفلِ وإلى ٱليسارِ

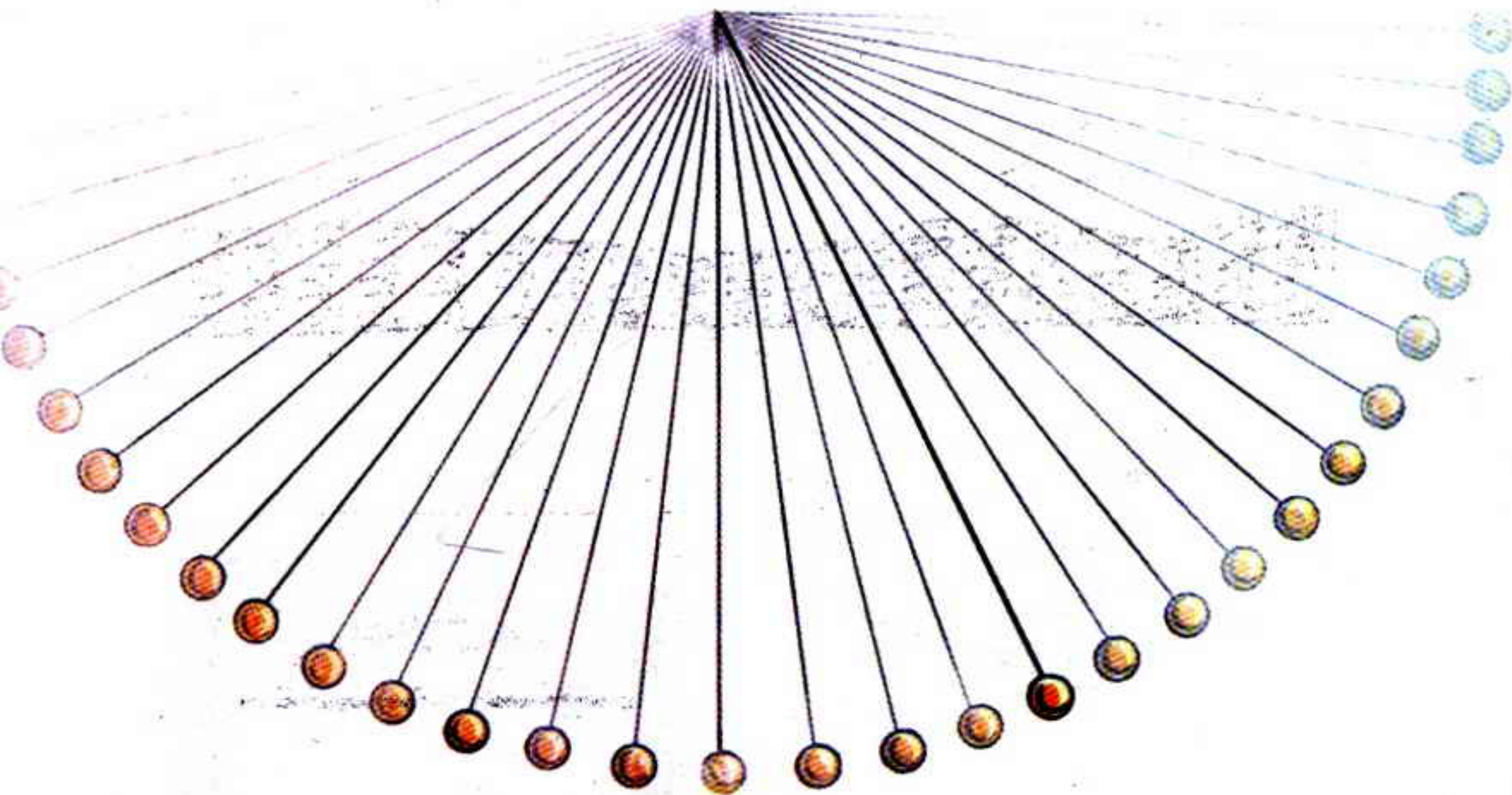
عِندَما ترفعُ صُندوقًا فإنّكَ تبذُلُ قوّةً لِلتّغلُّبِ على جَذْبِ ٱلأرضِ لهُ، كما إنّكَ تُحرِّكُ هٰذهِ ٱلقوّةَ مسافةً مُعيّنةً. أي إنّكَ تبذُلُ شُغْلًا على ٱلصُّندوقِ. وَكذلكَ إذا قُمتَ بدفعِ ٱلصُّندوقِ على ٱلأرضِ فإنّكَ هُنا أيضًا تبذُلُ شُغْلًا لِلتّغلُّبِ على قُوّةِ الاحْتِكاكِ بينَ ٱلأرضِ وَٱلصُّندوقِ.

اَلشُّغْلُ وَٱلطّاقَةُ

اَلرَّجُلُ ٱلَّذي يَقومُ بِحَمْلِ أكْياسٍ مِن البطاطا إلى ٱرتفاعٍ ما يَبذُلُ أوْ يُؤدّي شُغْلًا، وَتعتمِدُ كَمِّيَّةُ هٰذا ٱلشُّغلِ لا على وَزنِ ٱلأكياسِ فَقطْ بَل أيضًا على الارْتفاعِ ٱلَّذي يَجبُ حَملُها إليهِ. فَٱلرَّجُلُ ٱلَّذي يَرفعُ كيسًا إلى عُلُوِّ ١٢ مترًا يقومُ بِضِعْفَي ٱلشُّغْلِ ٱلَّذي يَقومُ بِهِ عِندما يَرفعُ ٱلكيسَ نَفْسَهُ إلى عُلُوِّ ٦ أمتارٍ فقطْ. كما إنَّ رفعَ كيسٍ وَزنُهُ ٢٠ كيلوغرامًا إلى عُلُوِّ ٦ أمتارٍ يَتطَلَّبُ ضِعفَ ٱلشُّغْلِ ٱللّازمِ لِرَفْعِ كيسٍ وَزنُهُ ١٠ كيلوغراماتٍ إلى ٱلعُلُوِّ نَفْسِهِ. إنَّ ٱلشُّغْلَ يَعْتَمِدُ عَلى عامِلَيْنِ ٱثْنَيْنِ: القُوَّةِ وَٱلمَسافَةِ. فَٱلشُّغْلُ ٱلمَبْذولُ يُساوي ٱلقُوَّةَ ٱلمَبذولَةَ مَضْروبَةً في ٱلمَسافَةِ ٱلَّتي ٱسْتُخْدِمَتْ خلالها تِلكَ ٱلقوَّةُ. وعلى هذا فلا شُغْلَ يُبذَلُ إلّا عِندما تتحرَّكُ ٱلقوَّةُ ٱلمُسَلَّطةُ.

فإذا حَمَلْتَ كتابًا ثقيلًا فوقَ رأسِكَ، وأسْنَدْتَهُ بِيَديكَ، فإنَّ ذٰلِكَ لا يُعْتَبَرُ شُغْلًا بِٱلمَفهومِ ٱلعِلْمِيِّ لِأنَّ ٱلكتابَ ظَلَّ في مكانِهِ. لكنَّ بعضَ ٱلشُّغلِ يُبْذَلُ في أثناءِ تَمَدُّدِ عَضَلاتِ يَديكَ وَتَقَلُّصِها. وإذا قُمْتَ بِرفعِ جسمٍ ما عنِ ٱلأرضِ لِتَضعَهُ على ٱلرَّفِّ فإنَّ عَليكَ بَذْلَ شُغلٍ لِوَضْعِهِ هُناكَ. وَهٰذا ٱلشُّغلُ لا يَضيعُ لأنَّ ٱلجسمَ في وَضْعِهِ ٱلجديدِ يَملِكُ **طاقةً** أكْبَرَ من ذي قَبل. وَيُطْلَقُ على هٰذِهِ ٱلطّاقةِ ٱلمَخْزونَةِ ٱسْمُ **ٱلطّاقَةِ ٱلكامِنَةِ**. فإذا ما سَقطَ ٱلجسمُ عنِ ٱلرَّفِّ فإنَّهُ يَفْقِدُ هٰذهِ ٱلطّاقةَ ٱلكامِنةَ. وَحيثُ إنَّهُ يَسقُطُ مُتسارِعًا فإنَّهُ يَكْتَسِبُ نَوعًا جَديدًا منَ ٱلطّاقَةِ يُسَمّى **ٱلطّاقَةَ ٱلحَرَكِيَّةَ**. وَهِيَ طاقَةُ ٱلجسمِ ٱلنّاتِجةُ عَن حَرَكَتِهِ.

أمّا إذا ما سَقطَ ٱلجسمُ على ٱلرّملِ أو على تُربةٍ رَخْوةٍ فإنَّهُ يُحدِثُ حُفرةً في مكانِ سُقوطِهِ. وفي هٰذِهِ ٱلحالةِ تكونُ ٱلطّاقةُ ٱلحَرَكِيَّةُ قَدِ ٱسْتُخْدِمَتْ في تَحريكِ ٱلتُّربَةِ. إنَّ طاقةَ أيِّ جسمٍ إنَّما هيَ في ٱلواقعِ قُدْرَتُهُ عَلى أداءِ ٱلشُّغلِ، فَٱلطّاقةُ لا تُفْقَدُ أبَدًا بَلْ تَتَحَوَّلُ من شكلٍ إلى آخَرَ.

ولكنْ ماذا يحدُثُ إذا سقَطَ ٱلجسمُ على أرضٍ صُلْبَةٍ؟ وأينَ تَذهبُ طاقَتُهُ؟ إنَّ قِسمًا من طاقتِهِ ٱلحركيَّةِ يُسْتَخْدَمُ في إحْداثِ ضَجَّةٍ وَقِسْمًا آخَرَ يَعملُ لِتَشويهِ شكلِ ٱلجسمِ، بَينَما تتحوَّلُ ٱلطّاقةُ ٱلمُتَبَقِّيَةُ إلى شكلٍ آخَرَ من ٱلطّاقةِ هُوَ **ٱلحرارَةُ**، يُسخِّنُ ٱلجسمَ قَليلًا. وَيُمْكِنُكَ تَبيانُ تَحوُّلِ ٱلطّاقةِ ٱلحركيَّةِ إلى حَرارةٍ بِطَرْقِ قِطعةِ نُقودٍ مَعدِنِيَّةٍ

إلى ٱليسارِ

إذا رَبَطْتَ وزنًا ما في طرفِ خَيطٍ كَفادِنٍ وَعلَّقْتَ طَرَفَ ٱلخيطِ ٱلآخَرَ من نُقطةٍ ثابتةٍ تحصُلُ على نَوّاسٍ (أو بَنْدولٍ). فإذا ما أزَحْتَ ٱلوزنَ إلى أحدِ ٱلجوانبِ فإنّكَ تكونُ قد بَذَلْتَ شُغْلًا رَفعْتَ بهِ هٰذا ٱلوزنَ بِٱتّجاهٍ مُعاكسٍ لجاذبيّةِ ٱلأرضِ، أي إنّكَ تكونُ قدْ زِدْتَ مِنْ طاقتِهِ ٱلكامِنَةِ. دَعِ ٱلوزنَ يَنطَلِقُ. إنَّ سُرعَةَ ٱلفادِنِ تَزْدادُ تَدْريجيًّا حتّى يبلُغَ قاعَ ٱلخَطْرَةِ (ٱلخَطَرانِ)، فَتَصِلُ ٱلسُّرْعَةُ حَدَّها ٱلأقصى كما تكونُ طاقتُهُ ٱلكامِنَةُ قدْ تحوَّلَتْ بِكامِلِها إلى طاقةٍ حَرَكِيَّةٍ. وَعِندَما يَبدأُ ٱلفادِنُ بِٱلصُّعودِ إلى ٱلجانبِ ٱلآخَرِ فإنَّ سُرعتَهُ تَتَقاصَرُ (تَتَباطأُ) مُجدَّدًا وَتَتحَوَّلُ طاقتُهُ ٱلحَرَكِيَّةُ بِٱلتّالي إلى طاقةٍ كامِنَةٍ. وَتَرى في ٱلشَّكْلِ عَدَدًا من ٱلصُّورِ ٱلمأخوذَةِ لِلنَّوّاسِ، تُبَيِّنُ ٱلمراحلَ ٱلمُخْتَلِفَةَ في أثناءِ نَوسَةٍ (خَطْرَةٍ) كامِلةٍ.

عِدَّةَ مَرَّاتٍ بِٱلمِطْرَقَةِ ، فَسَتَجِدُ أَنَّها تَسْخُنُ بِسُرْعَةٍ .

وَٱلمَعروفُ طَبعًا هُوَ أَنَّ طَرْقَ ٱلأشياءِ ليسَ ٱلطَّريقةَ ٱلمُثلى لِتَسخينِها . فإنْتاجُ ٱلحرارةِ بِإحْراقِ ٱلوَقودِ أَفْضَلُ بِكَثيرٍ . فَعِندَما يَشْتَعِلُ ٱلفحمُ تَنْطَلِقُ ٱلحرارةُ لذا نَعتبرُ ٱلفحمَ أحدَ مَصادرِ ٱلطّاقةِ . فَٱلطّاقةُ مَخزونَةٌ في ٱلفحمِ ، وَٱلفحمُ يَحْتَرِقُ مُكَوِّنًا مُرَكَّباتٍ كيماوِيَّةً جَديدةً ذاتَ طاقةٍ أدنى . أمّا فائضُ ٱلطّاقةِ فَيُنْبَعِثُ حَرارةً . وَيُمْكِنُ ٱسْتِخدامُ ٱلطّاقةِ ٱلمُنْبَعِثَةِ من ٱلفحمِ في إنتاجِ ٱلبُخارِ ٱلّذي يُسْتَخْدَمُ لِتَسْييرِ ٱلآلاتِ ٱلبُخاريَّةِ ، وَهٰذِهِ بِدَوْرِها تُسْتَخْدَمُ لِإِنْتاجِ ٱلشُّغْلِ . وَهكَذا يُؤَدّي ٱلفحم دورَهُ كَوَقودٍ .

وأنتَ أيضًا تَسْتَهْلِكُ ٱلوَقودَ عندما تَقوم بشُغْلٍ ما كَرَفْعِ حُمولَةٍ أو دفْعِ جسمٍ . وهٰذا ٱلوَقودُ هُوَ ٱلأَغذيَةُ ٱلّتي تَتناوَلُها . فَٱلتَّحوُّلاتُ ٱلكيماوِيَّةُ ٱلّتي تَطْرَأُ على هٰذِهِ ٱلأَغذِيَةِ تُزَوِّدُكَ بِٱلطّاقةِ . وَهٰذِهِ ٱلطّاقةُ ٱلمَخْزونَةُ في ٱلموادِّ ٱلمُخْتلِفةِ كَٱلأغذِيَةِ وَٱلفحمِ وَٱلنِّفْطِ وَٱلغازِ ، هي طاقةٌ كيماوِيَّةٌ .

وَهُناكَ أشكالٌ أُخْرى لِلطّاقةِ . فَعِندَما تَحْتَرِقُ ٱلأجسامُ مَثَلًا يُنْبَعِثُ ضَوءٌ بِٱلإضافةِ إلى ٱلحرارةِ ، أي إنَّ قِسمًا من ٱلطّاقةِ يَتحوَّلُ إلى طاقةٍ ضَوئيَّةٍ . وكَذٰلِكَ تَتَحَوَّلُ ٱلطّاقةُ ٱلكهربائيَّةُ إلى حرارةٍ وَضَوءٍ في ٱلمِدْفَأَةِ ٱلكَهربائيَّةِ .

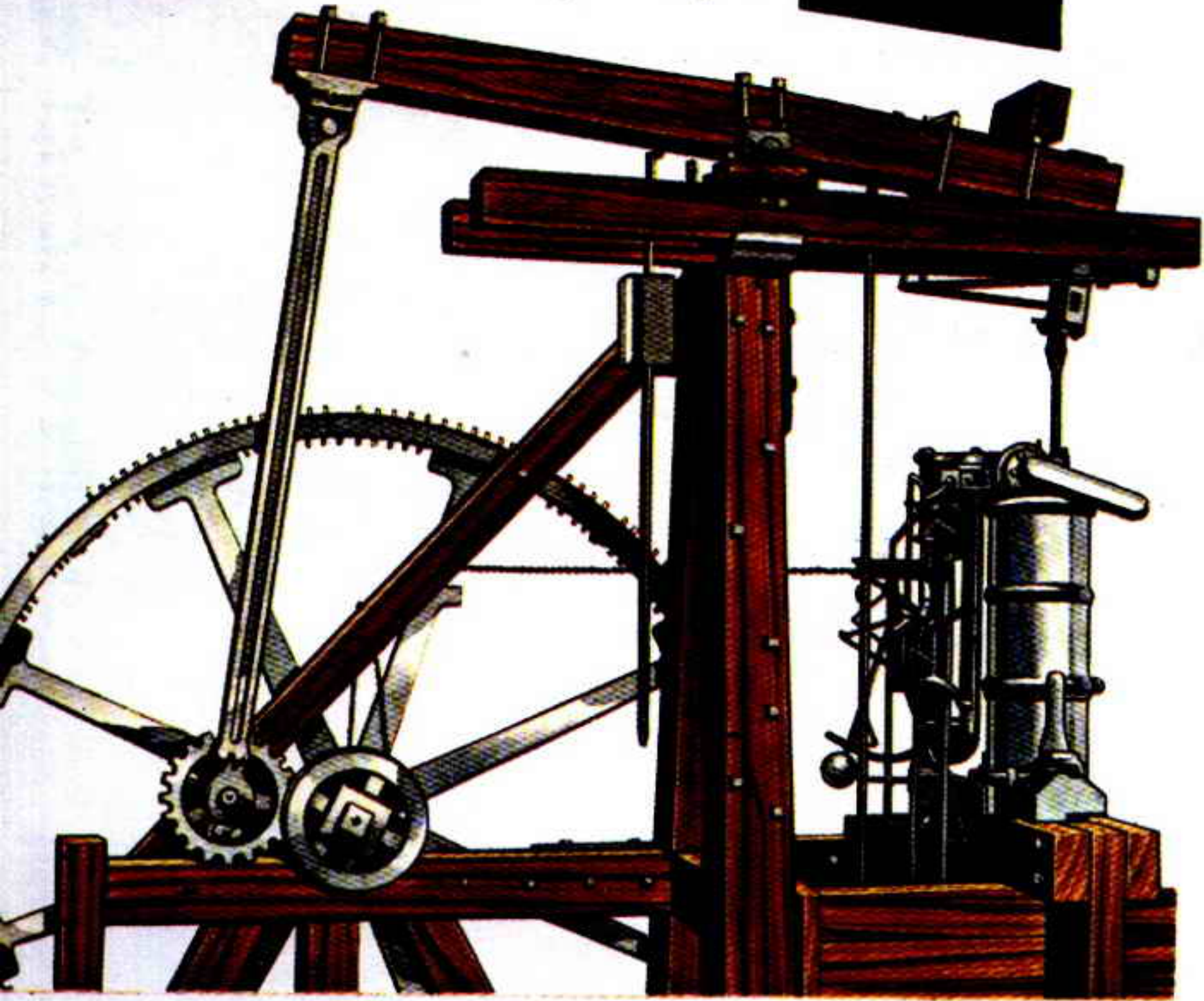
إلى ٱليمينِ

عِندَ ٱنطِلاقِ ٱلسَّهمِ تَتحَوَّلُ طاقةُ ٱلقَوْسِ ٱلمَحْنِيِّ ٱلكامِنَةُ إلى طاقةٍ حَرَكِيَّةٍ تُحَرِّكُ ٱلسَّهمَ .

إلى ٱلأَسْفَلِ

جيمسْ واطْ (١٧٣٦ - ١٨١٩) مُهندِسٌ وَمُخْتَرِعٌ اسكُتْلَنْدِيٌّ صَمَّمَ مُحَرِّكًا بُخارِيًّا فَعّالًا وأَدخلَ عليهِ عَدَدًا كبيرًا من ٱلتَّحسيناتِ ، بعدَ وقتٍ قصيرٍ منِ ٱخْتِراعِ هٰذِهِ ٱلآلاتِ .

واط

إلى ٱلأعلى

يُسْتَخدَمُ ٱلمُحَرِّكُ ٱلبُخاريُّ لِلحُصولِ على شُغْلٍ مُجْدٍ منَ ٱلطّاقةِ ٱلمُخْتَزَنَةِ في ٱلفحمِ . وَهٰذِهِ ٱلآلةُ هي من صُنْعِ جيمسْ واطْ عامَ ١٧٨٨ وَهِيَ مَحفوظَةٌ حاليًّا في مُتْحَفِ ٱلعُلومِ بِلَنْدَن .

جَرّارُ بَكَرَةِ خيطانٍ **عُلْبَةُ ٱلدُّروجِ ٱلتِّلْقائِيَّةُ ٱلأرْتِداد**

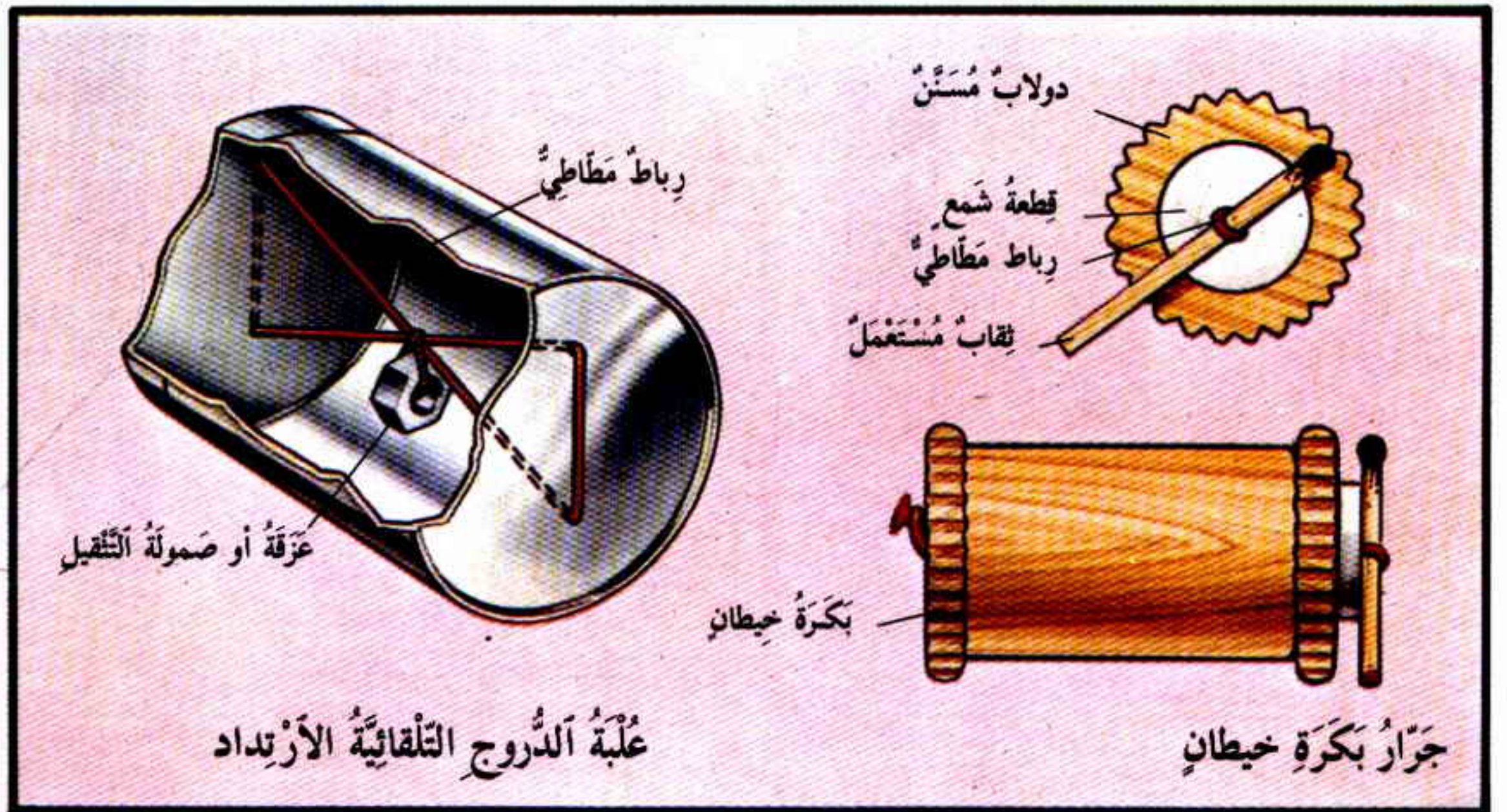
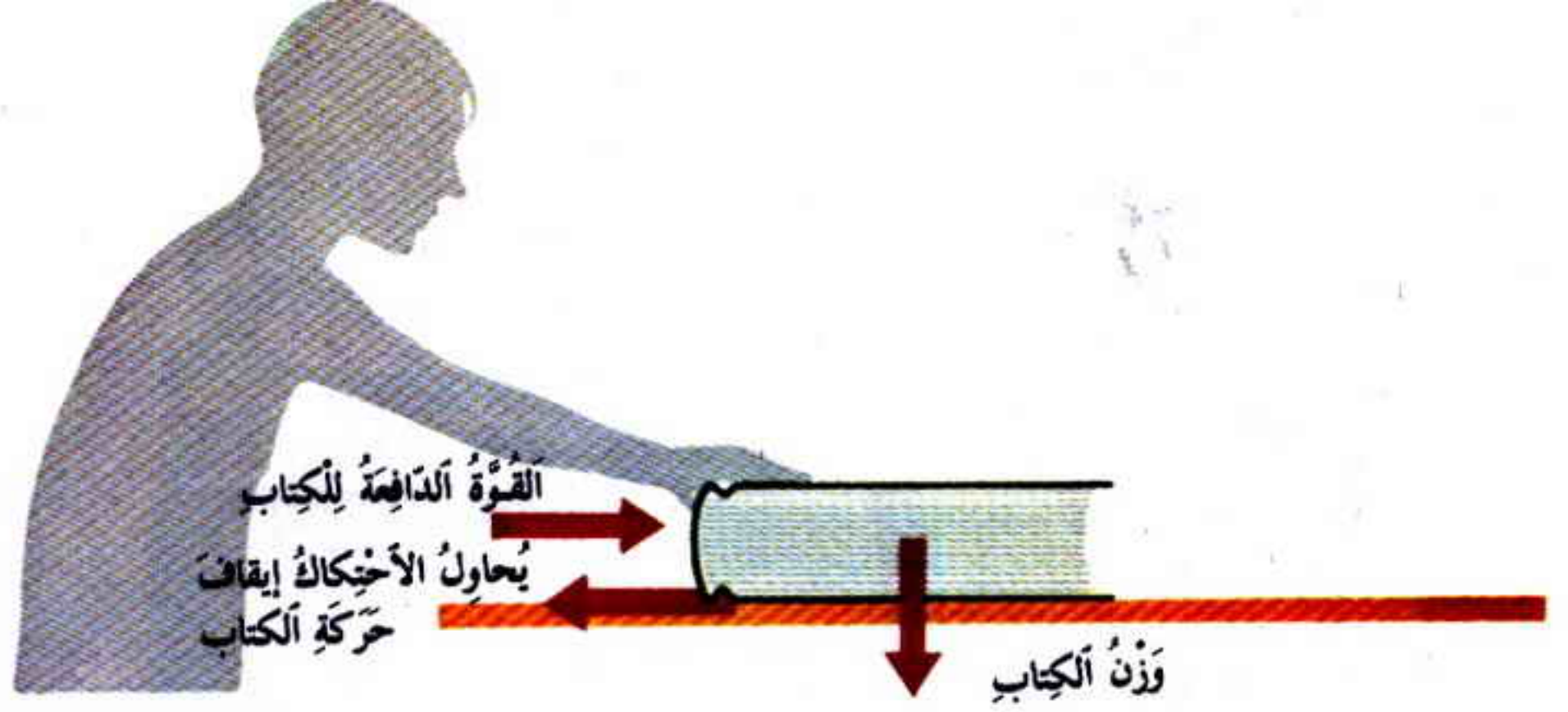
إلى ٱليمينِ

لُعبتانِ تَعْتَمِدانِ على ٱلطّاقةِ ٱلمَخزونةِ في رِباطٍ مَطّاطِيٍّ مَجْدولٍ . أَبْرِمْ مَطّاطَ عُودِ ٱلثِّقابِ في جَرّارِ بَكَرَةِ خيطانِ ٱلقُطنِ فَيَنْطَلِقَ ٱلجَرّارُ على ٱلأرضِ عِندَ تَرْكِهِ دارِجًا على مُسَنَّناتِهِ . اِصْنَعْ «عُلبةَ تِلْقائِيَّةَ الأرْتِدادِ» كما هُوَ ظاهِرٌ في ٱلصُّورةِ . ثُمَّ دَحْرِجْها على ٱلأرضِ فَتَتَسَبَّبَ عَزْقَةُ ٱلتَّثْقيلِ في جَدْلِ ٱلشَّريطِ ٱلمَطّاطِيِّ ، وَهٰذا يُسَبِّبُ دُروجَها إلى ٱلوَراءِ تِلقائِيًّا بَعْدَ دُروجِها إلى ٱلأمامِ بِفِعْلِ ٱلطّاقةِ في ٱلشَّريطِ ٱلمَجْدولِ .

القُوَّةُ الدّافِعَةُ لِلْكِتابِ

يُحاوِلُ الاحْتِكاكُ إيقافَ حَرَكَةِ الكِتابِ

وَزْنُ الكِتابِ

عُلْبَةُ الثِّقابِ تَبدأُ بالانْزلاقِ على السَّطحِ الأقلِّ مَيْلًا على جانبِها النّاعِمِ

إلى أقصى اليسارِ

بإمكانِكَ إجراءُ بعضِ التجاربِ عنِ الاحْتِكاكِ بِاسْتِخْدامِ سَطحٍ مائلٍ مِن الخشبِ أوِ الورقِ المُقَوّى السَّميكِ. ضَعْ عُلْبَةَ ثِقابٍ على جانِبِها النّاعمِ فوقَ السَّطحِ وَأَمِلْهُ تدريجيًّا حتّى تَبدأَ عُلبةُ الثِّقابِ بالانْزلاقِ. ثُمَّ جَرِّبْ جانِبَ العُلْبَةِ الخَشِنَ. هل تنزلقُ عُلبةُ الثِّقابِ على السَّطحِ المائلِ؟ في الواقِعِ، إنَّكَ تحتاجُ إلى إمالةِ السَّطحِ أكثرَ لِجَعْلِها تنزلقُ. يُمكِنُكَ إجراءُ هٰذهِ التَّجربةِ بِاستعمالِ سُطوحٍ مُختلِفَةٍ لمعرفةِ قوّةِ الاحْتِكاكِ بينَها.

في الأعلى

ضَعْ كِتابًا على سَطحِ الطّاولةِ ثُمَّ حاوِلْ دَفْعَهُ إلى الأمامِ. إنَّ الاحْتِكاكَ يُقاوِمُ دَفْعَكَ وَيُحاوِلُ مَنْعَ الكِتابِ من التَّحَرُّكِ. كَدِّسْ عَدَدًا أكبرَ من الكتبِ فوقَ الكتابِ الأوّلِ وَجَرِّبْ دَفْعَهُ مُجَدَّدًا. إنَّ عَمَلِيَّةَ الدَّفعِ في هٰذهِ الحالةِ أصْعَبُ لِأنَّ الثِّقلَ المَدفوعَ أكبرُ. فَهُناكَ قوّةٌ أكبرُ تضغَطُ الكتابَ على الطّاولةِ فتجعلُ الاحْتِكاكَ أكبرَ.

الاحْتِكاكُ

أُمْرِرْ إصْبَعَكَ جيئةً وذهابًا فوقَ سَطحٍ ناعمٍ مَصقولٍ، ثُمَّ على سَطحِ حَجَرٍ أو آجُرَّةٍ خَشِنَةٍ. هل تشعُرُ بِالفَرْقِ؟ إنَّكَ تَشْعُرُ في الحالةِ الثّانيةِ أنَّ هُناكَ قوّةً تُحاوِلُ إيقافَ حَرَكَةِ إصْبَعِكَ، وَهٰذهِ القُوَّةُ تُسَمّى **الاحْتِكاكَ**. فالاحْتِكاكُ هُوَ القُوَّةُ الّتي تُحاوِلُ إيقافَ الحَرَكَةِ بَيْنَ أيِّ سَطْحَيْنِ يَتَحَرَّكُ أحَدُهُما فَوْقَ الآخَرِ.

وَتَخْتَلِفُ شِدَّةُ الاحْتِكاكِ في بعضِ السُّطوحِ عن بعضِها الآخَرِ. فَمِنَ السَّهْلِ مَثَلًا الانْزلاقُ على أرْضِيَّةٍ ناعِمَةٍ صَقيلَةٍ، ولكنْ مِنَ الصَّعْبِ الانْزِلاقُ على سَطْحٍ خَشِنٍ. ذلكَ لأنَّ الاحْتِكاكَ أشَدُّ على السَّطحِ الخَشِنِ مِنْهُ على السَّطحِ المَصْقولِ.

وَلِلاحْتِكاكِ فَوائِدُ مُهِمَّةٌ في نواحٍ مُخْتَلِفَةٍ مِنْ حَياتِنا اليوميَّةِ. فَمكابِحُ الدَّرّاجاتِ مَثَلًا تعمَلُ بالاحْتِكاكِ حَيْثُ تُشَدُّ الكُتَلُ المَطّاطِيَّةُ على طَوقِ العَجَلاتِ فَتُوقِفُ حَرَكَتَها. وَتَتَجَلّى فائِدَةُ الاحْتِكاكِ في عَمَلِيَّةِ المَشْيِ أيضًا. فَلَوْلا الاحْتِكاكُ بينَ نِعالِ أحْذِيَتِنا وَسَطحِ الأرضِ لَكُنّا نَنْزَلِقُ كَالمُتَزَلِّجينَ لَدى أوَّلِ خُطْوَةٍ نَهُمُّ بِها.

وَعِنْدَ دَلْكِ يَدَيْكَ بِبَعْضِهِما فَتْرَةً مِنَ الزَّمَنِ تُلاحِظُ أنَّهُما تَسْخُنانِ، فَالاحْتِكاكُ يُوَلِّدُ حَرارَةً، وَأحْيانًا تُسْتَخْدَمُ هٰذهِ الحرارَةُ لِأغْراضٍ مُفيدَةٍ. فَقَديمًا كانَ النّاسُ يَسْتَخْدِمونَ الاحْتِكاكَ لِإشعالِ النّارِ وَذٰلِكَ عَنْ

دُولابٌ مَعْدِنِيٌّ

إلى اليمينِ

الاحْتِكاكُ يُوَلِّدُ الحَرارةَ. وَهٰذهِ طَريقةٌ قَديمةٌ لِإشْعالِ النّارِ، يُبْرَمُ فيها قَضيبٌ مُسَنَّنُ الرَّأسِ داخلَ قِطعةٍ من الخشبِ بِسرعةٍ كافيةٍ، فيسخُنُ إلى درَجةٍ تُلْهِبُ الأعشابَ الجافّةَ مِنْ حَولِهِ.

إلى اليسارِ

هٰذهِ طَريقةٌ أحدثُ لإشعالِ النّارِ، وهي تَعْتَمِدُ كسابِقَتِها على الاحْتِكاكِ. فعِندما تضغَطُ على القَدّاحةِ، يَدُورُ دُولابٌ مَعْدِنِيٌّ وَيَحتَكُّ بِحجرِ القَدّاحةِ المَصْنوعِ من فِلِزِّ السّيريوم. وَتتناثرُ بالاحْتِكاكِ شَراراتٌ هي قِطَعٌ صَغيرَةٌ من حَجَرِ القَدّاحةِ ساخنةٌ إلى درَجةِ الابْيضاضِ. وَهٰذهِ الشَّراراتُ تُشْعِلُ غازَ القَدّاحةِ أو فَتيلَها.

علبةُ الثقابِ تحتاجُ إلى إمالةِ السطحِ أكثرَ للانزلاقِ على جانبِها الخشنِ

طَريقِ فَرْكِ عِيدانِ الخشَبِ الجافَّةِ بَعْضِها بِبَعْضٍ حتّى تَشْتَعِلَ. كما إنَّكَ تَفْرُكُ يَديكَ بيعضها عِندما تشعُرُ بِالبَرْدِ لِتُدْفِئَهُما. وَحينَما يُشْعِلُ الإنسانُ المُعاصِرُ عُودَ الثِّقابِ بِحَكِّ طَرَفِهِ على سَطْحٍ خَشِنٍ تَنْتُجُ حَرارَةٌ كافِيَةٌ تُلْهِبُ المَوادَّ الكيماوِيَّةَ في ذٰلِكَ الطَّرَفِ.

إلّاأنَّهُ في أَحيانٍ أُخْرى، قد تكونُ لِلحرارةِ النّاتِجةِ عنِ الاحْتِكاكِ عَواقِبُ وَخيمَةٌ. فمَثَلًا عَندما تَعُودُ سَفينَةٌ فَضائِيَّةٌ وَتَدْخُلُ جَوَّ الأرضِ تَرْتفعُ دَرَجَةُ حَرارتِها كَثيرًا بِتأْثيرِ الاحْتِكاكِ بينَ سَطحِ السَّفينةِ وَالهواءِ. وَلِذا كانَ مِنَ الضَّروريِّ تَجهيزُ السَّفينةِ الفَضائيَّةِ بِدِرْعٍ خاصٍّ لِوِقايَتِها وَحِمايَةِ رُوّادِ الفَضاءِ بِداخِلِها مِنَ الحرارةِ العالِيَةِ.

ولمّا كانَ مُحرِّكُ السَّيّارَةِ يَشْتَمِلُ على عَددٍ كبيرٍ مِنَ السُّطوحِ المَعدِنِيَّةِ المُتَحَرِّكَةِ، فإنَّ احْتِكاكَ هٰذِهِ السُّطوحِ بِبَعْضِها يُنْتِجُ حَرارةً كبيرةً إذا لَمْ تُزَيَّتْ هٰذِهِ السُّطوحُ. فَزيْتُ التَّزْليقِ يُكَوِّنُ غِشاءً زَيتيًّا رَقيقًا يَفْصِلُ بينَ السُّطوحِ المُتَحَرِّكَةِ ويمنعُ الاحْتِكاكَ المُباشِرَ بينَ هٰذِهِ السُّطوحِ وَبِالتّالي يَمْنَعُ دَرَجَةَ حَرارةِ المُحَرِّكِ مِنَ الارْتِفاعِ.

وَهنالكَ طَريقةٌ أُخرى لِلتَّغَلُّبِ عَلى مُشْكِلَةِ الاحْتِكاكِ تَعْتَمِدُ على اسْتِعمالِ كُراتِ المَحامِلِ وَأُسطُواناتِ الدُّروجِ. فَالمعروفُ دائمًا أنَّ دَحْرَجَةَ جسمٍ ما أَسْهَلُ من جَرِّهِ وَالأجسامُ الكبيرةُ يُمكِنُ تَحريكُها بِسُهولةٍ عن طريقِ دَفْعِها فَوقَ أُسْطُواناتِ الدُّروجِ.

رَدُّ الفِعْلِ عَلى الكُتْلَةِ المُثَقَّلَةِ المُؤَثِّرَةِ على اللَّوْحِ

قُوَّةُ الاحْتِكاكِ بينَ الكُتْلَةِ المُثَقَّلَةِ وَاللَّوْحِ

القُوَّةُ اللّازِمَةُ لِلتَّغلُّبِ عَلى الاحْتِكاكِ

وَزْنُ الكُتلةِ المُثَقَّلَةِ المُؤَثِّرُ عَلى اللَّوْحِ

في الأعلى

تُسْتَعْمَلُ هٰذهِ التجرِبةُ المَخْبَرِيَّةُ لقياسِ قُوَّةِ الاحْتِكاكِ بينَ سَطْحَيْنِ – في هٰذا المِثالِ، بينَ اللَّوْحِ وَالكُتْلَةِ الخَشَبِيَّةِ. إنَّ ما يُسَمّى بِمُعامِلِ الاحْتِكاكِ، يُساوي الوَزْنَ الكُلِّيَّ لِكِفَّةِ الميزانِ وَحُمولَتِها مَقسومًا على الوَزْنِ الكُلِّيِّ لِكُتْلَتِهِ الخَشَبِيَّةِ وحُمولَتِها. وَبِإمكانِكَ دِراسَةُ تَغَيُّرِ هٰذا المُعامِلِ: أ) بِالنِّسْبَةِ لِأوزانٍ مُخْتَلِفَةٍ فوقَ الكُتْلَةِ الخَشَبِيَّةِ ب) بِاسْتِعْمالِ كُتَلٍ مُتَنَوِّعَةٍ بِالنِّسْبَةِ لِسُطوحٍ مُخْتَلِفَةٍ.

غِشاءٌ مِنَ الزَّيتِ

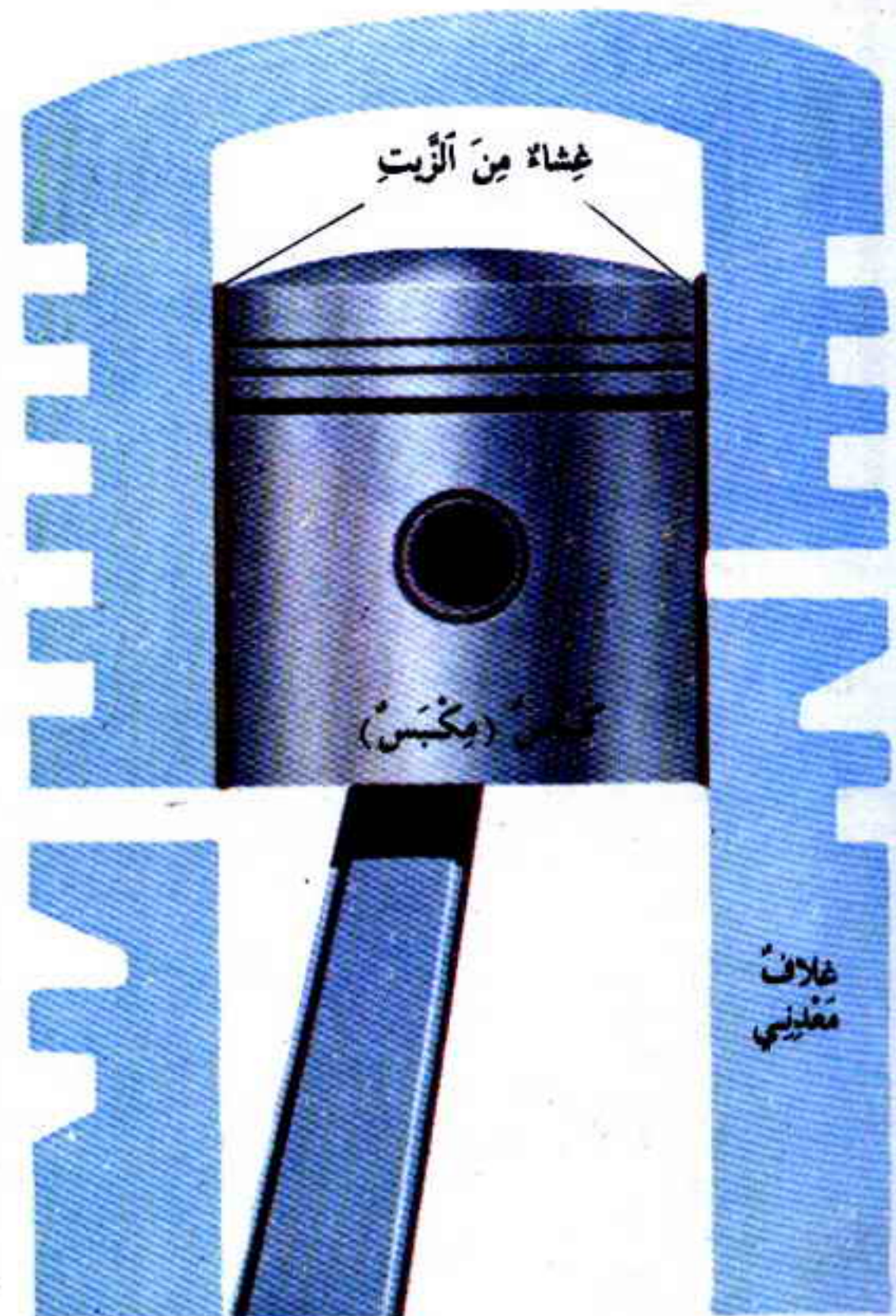
(مِكْبَس)

غلافٌ مَعْدِنِيّ

إلى اليمين

يُخَفِّفُ الزَّيتُ مِنَ الاحْتِكاكِ لِأنَّهُ يُشكِّلُ طَبَقَةً زَلِقَةً رَقيقَةً جِدًّا تُبقي السُّطوحَ مُنْفَصِلَةً بَعْضُها عَن بَعْضٍ.

إلى اليَسارِ

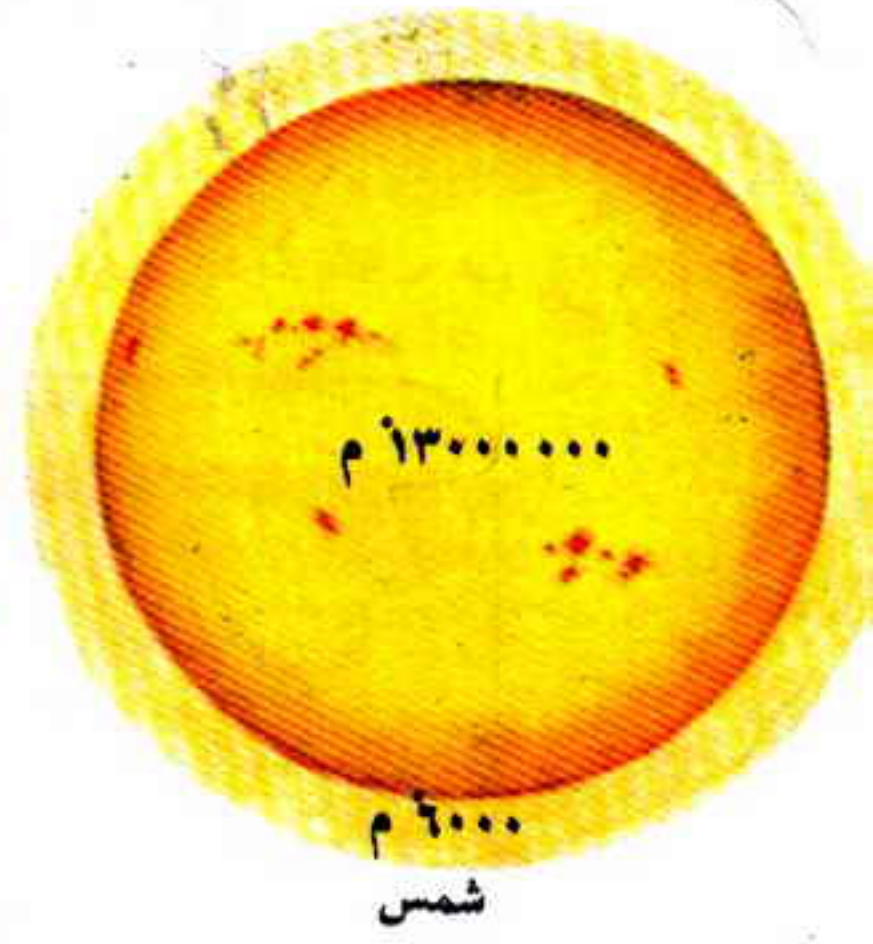
تُخَفِّفُ المَحامِلُ الكُرَوِيَّةُ مِنَ الاحْتِكاكِ. وَمِنْ أَجْلِ إثْباتِ ذلكَ، خُذْ عُلْبَتَيْنِ مَعْدِنِيَّتَيْنِ مُسَطَّحَتَيْنِ وَحاوِلْ أَنْ تَبْرُمَ الواحِدَةَ مِنْهُما فوقَ الأُخرى. أَعِدِ المُحاوَلَةَ بَعْدَ وَضْعِ كُراتٍ أَوْ كُتَلٍ صَغيرَةٍ بينَ سَطْحَيِ العُلْبَتَيْنِ وَلاحِظْ سُهولَةَ تَحقيقِ ذٰلِكَ الآنَ.

إلى اليمين

غطّس إحدى يديك في ماء ساخن والأخرى في ماء بارد. بعد حوالى دقيقة من الزمن غطّس كلتا يديك في وعاء به ماء فاتر. إنّ اليد التي كانت في الماء الساخن تحسّ الماء باردًا بينما اليد التي كانت في الماء البارد تجده ساخنًا. يتبيّن من هذه التجربة أنّ تقدير درجة الحرارة عن طريق اللمس هو أمر لا يمكن الاعتماد عليه.

حارّ بارد فاتر

١٣٠٠٠٠٠٠ م

٦٠٠٠ م

شمس

الحرارة ودرجة الحرارة

من المعلوم أنّ درجة الحرارة خفيضة في الأيام الباردة وعالية في الأيام الحارّة، فماذا نعني بدرجة الحرارة؟ إنّها قياس لشدّة سخونة الجسم أو برودته. فدرجة حرارة الثلج أخفض من درجة حرارة الماء المغلي، كما إنّ درجة حرارة الشمس عالية جدًّا.

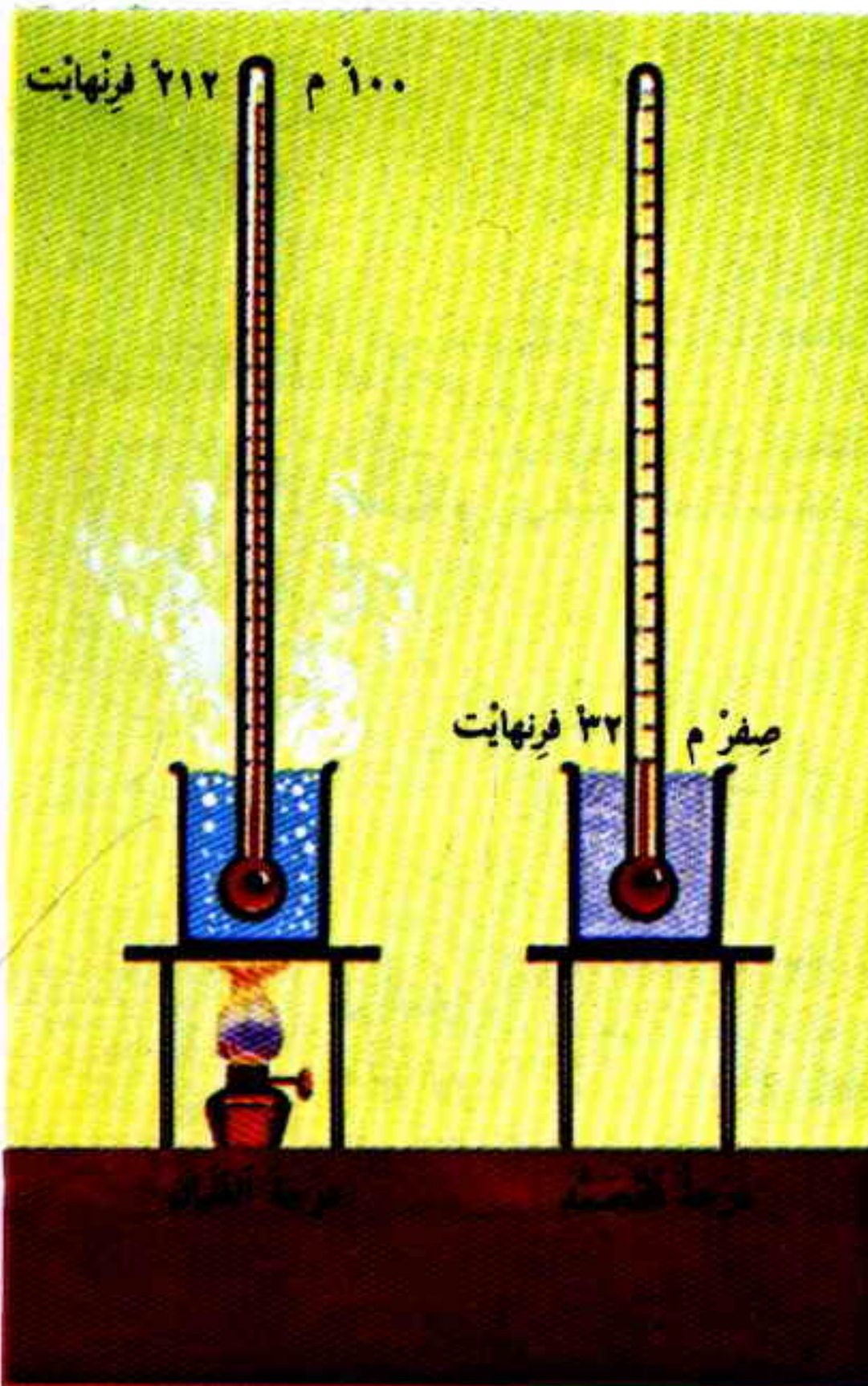
هنالك طرق عدّة يمكننا بها قياس درجات الحرارة. وإحدى هذه الطرق هي مسّ الأجسام بأيدينا والحكم على مقدار سخونتها. لكنّ هذه الطريقة ليست دقيقة بالنسبة للعلماء لأنّ حساسية الجلد ليست كافية لتمييز التغييرات الطفيفة التي تطرأ على درجات الحرارة. فمن أجل القياسات الدقيقة نستعمل **الترمومتر** أي **ميزان الحرارة**. تعتمد الترمومترات العادية على مبدأ تمدّد السوائل بتأثير الحرارة. فإذا نحن قسنا مقدار تمدّد السائل أمكننا معرفة الارتفاع في درجة حرارته.

هناك أنواع مختلفة من موازين الحرارة، والشائعة منها تعبّأ بالكحول أو بالزئبق. ويفضّل الترمومتر الكحولي على الزئبقي في المناطق الشديدة البرودة لأنّ درجة تجمّده أخفض. وهكذا يمكن استعمال ميزان الحرارة الكحولي في الظروف التي يتجمّد فيها الزئبق. أمّا في المختبرات فتستعمل موازين الحرارة الزئبقية لأنّ درجة غليان الكحول المنخفضة لا تسمح باستعماله لقياس درجات الحرارة العالية. فلو وضع ميزان حرارة كحولي في ماء يغلي فإنّ الكحول يغلي في الميزان وقد يفجّره.

أمّا الترمومتر الطبّي فهو نوع خاص من موازين الحرارة يستخدم لقياس درجة حرارة المريض. وهو مصمّم بحيث يبيّن درجة الحرارة القصوى المسجّلة بعد إخراجه من فم المريض.

وللحصول على مقياس عياري لتدريج الترمومتر ينبغي إيجاد نقطتي إسناد ثابتتين. ويشترط في هاتين النقطتين المرجعيّتين أن يكون من السهل الحصول عليهما دائمًا. فالنقطة المرجعية العليا هي درجة حرارة بخار الماء الغالي. والنقطة المرجعية الدنيا هي درجة حرارة انصهار الثلج. في المقياس المئوي لدرجات الحرارة يقسّم الفرق بين هاتين النقطتين إلى ١٠٠ قسم أو درجة، فدرجة الصفر المئوي هي درجة انصهار الثلج في هذا المقياس ودرجة ١٠٠ مئوية هي درجة حرارة بخار الماء الغالي. ويطلق على هذا المقياس أحيانًا اسم

١٠٠ م ٢١٢ فرنهايت

صفر م ٣٢ فرنهايت

ميزان الحرارة المنزلي

ميزان الحرارة الطبّي

130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 10 20

50 40 30 20 10 0 10 20

فوق

يمثّل هذا الشكل نوعين من موازين الحرارة. والسائل الأحمر في الترمومتر المزدوج التدريج هو الكحول مضافًا إليه صبغة حمراء لتسهيل رؤيته. أمّا ميزان الحرارة الطبّي فإنّه يحتوي على الزئبق. عند وضع هذا الميزان في فمك يتمدّد الزئبق مرتفعًا داخل الأنبوب. وعند رفعه من الفم يتقلّص الزئبق في بصيلة الترمومتر تاركًا عمود الزئبق الرفيع في ساق الميزان فوق نقطة التضييق ليدلّ على درجة الحرارة القصوى المسجّلة. وإذا ما أردت إنزال هذا الزئبق إلى داخل **بصيلة الميزان** فإنّه يتوجّب عليك رجّ الترمومتر إلى الأسفل بقوّة.

إلى اليمين

مقارنة مقياسي درجة الحرارة المئوي والفرنهيتي.

إلى اليسار

مجموعةٌ من الأشياءِ المألوفةِ ذاتِ درجاتِ الحرارةِ المختلفةِ.

١٠٠° م

بُخارٌ

صفر م

جَليدٌ

٣٧° مئوية
٩٨,٤° فرنهايت

رجُل

إلى الأسفلِ

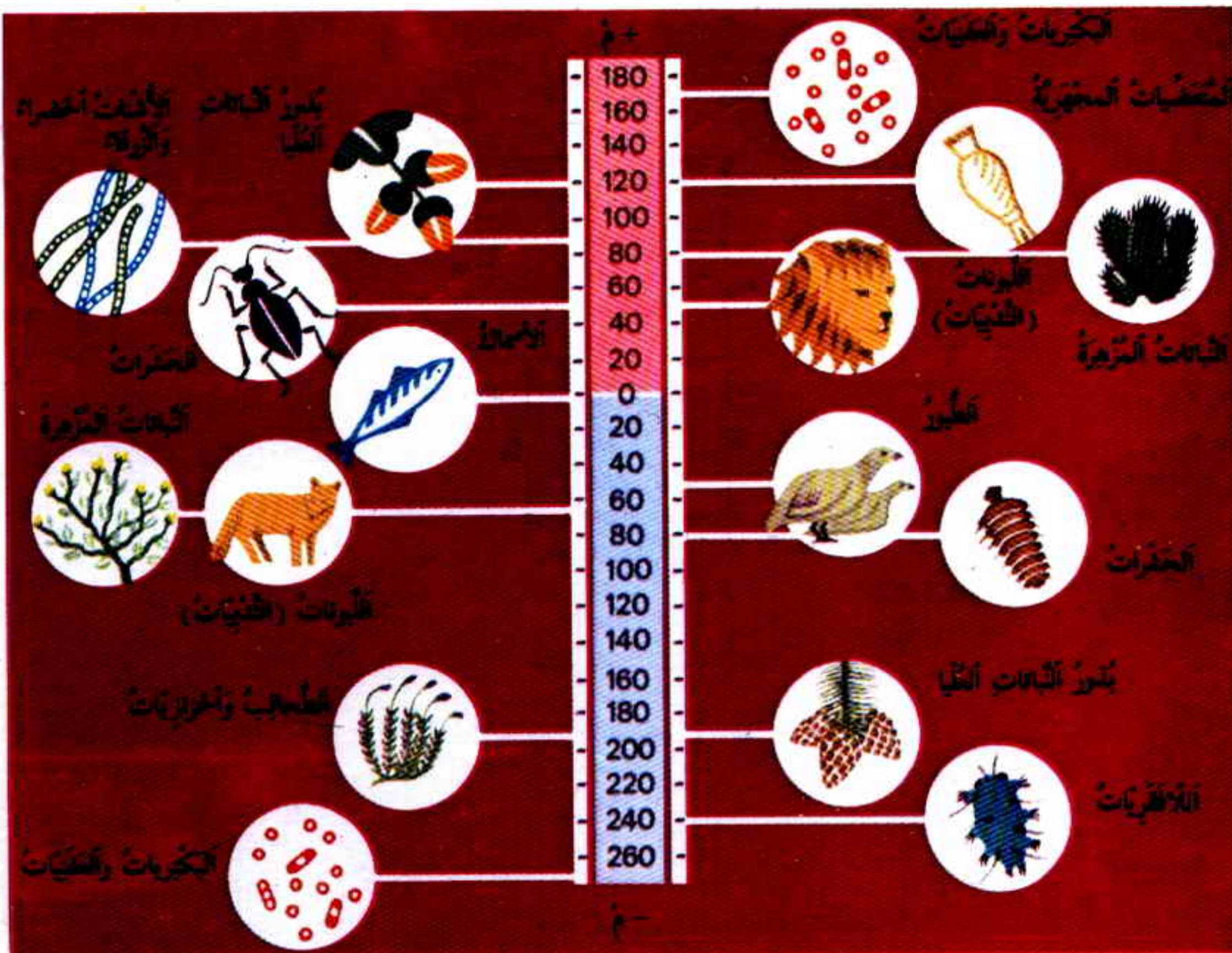
اللورد كلفن (١٨٢٤ – ١٩٠٧) عالِمٌ ومهندسٌ بريطاني شهيرٌ. إسْمُهُ الأصليّ وبليام طومسون. وقدِ اشْتُهِرَ بأبحاثِهِ في الكهرباءِ والمغنطيسيَّةِ والحرارةِ. كما اخترعَ مِقياسًا لدرجاتِ الحرارةِ يعتمدُ على حقيقةِ أنَّهُ يستحيلُ الحصولُ على درجةِ حرارةٍ أخفضَ مِنَ الدَّرجةِ – ٢٧٣° م. ويَستخدِمُ العُلَماءُ حاليًّا في مقياسِ درجاتِ الحرارةِ مِقياسَ كلفن الّذي صفرُه الدَّرجةُ – ٢٧٣° م، فتكونُ بِهِ درجةُ تجمُّدِ الماءِ ٢٧٣,١٥ كلفن. علمًا بأنَّ الكلفنَ الواحدَ يُساوي درجةً واحدةً مئويَّةً.

كلفن

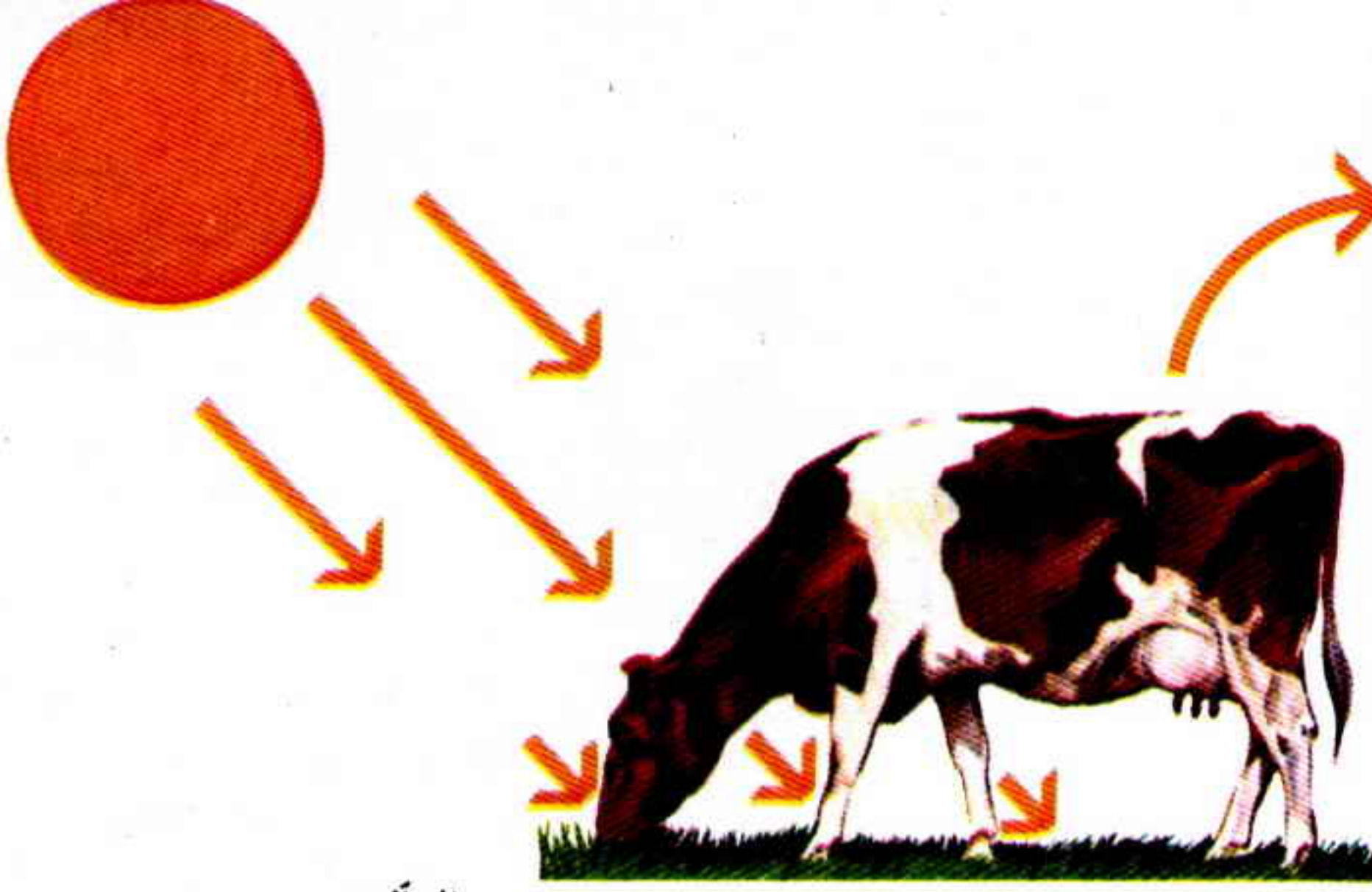
مِقياسِ سلسيوس، نِسبةً إلى العالِمِ السُّويديِّ الّذي ابْتكرهُ.

أما في مِقياسِ فرنهايت، فَنُقطةُ انْصِهارِ الثَّلجِ هي ٣٢ فرنهيتية والنُّقطةُ الثابتةُ العُليا (درجةُ غَليانِ الماءِ على ضَغْطٍ جوِّيٍّ عِياريٍّ) هي ٢١٢ فرنهيتية. ولَقَدِ اتَّخذَ فرنهايت، مُخترِعُ هذا المِقياسِ، درجةَ حرارةِ مَزيجٍ مِنَ المِلحِ والثَّلجِ كنُقطةِ الصِّفرِ لميزانِهِ الحراريِّ. وهذا التِّرمومتر قليلُ الأهمِّيَّةِ حاليًّا. فَمُعْظَمُ النّاسِ، ومِنْ بَيْنِهِم العُلَماءُ، يَستخدِمونَ مِقياسَ الحرارةِ المِئويَّ.

هُنالكَ فَرقٌ طَبعًا بينَ الحرارةِ ودَرجةِ الحرارةِ. ولِبيانِ هذا الفرقِ تَخيَّلْ إبْرةً مُتوهِّجةَ الاحْمِرارِ وغَلّايةً مليئةً بالماءِ المُغلى. فالإبْرةُ أشدُّ سُخونةً بكثيرٍ من الماءِ السّاخنِ، أي إنَّ دَرَجةَ حَرارتِها أعلى بكثيرٍ من درجةِ حرارةِ الماءِ المغلى. إلّا أنَّ كمِّيَّةَ الحرارةِ الموجودةِ في الإبْرةِ قليلةٌ جدًّا بالنِّسْبةِ إلى كمِّيَّةِ الحرارةِ في ماءِ الغَلّايةِ الحارِّ. ويُمكِنُكَ إثباتُ ذلكَ بإسْقاطِ الإبْرةِ المُتوهِّجةِ الاحْمِرارِ في غَلّايةٍ مليئةٍ بالماءِ البارِدِ فإنَّها تكادُ لا ترْفَعُ دَرجةَ حرارةِ الماءِ بشكلٍ مَلحوظٍ.

والجديرُ بالذِّكرِ أنَّ كمِّيَّةَ الحَرارةِ في جِسْمٍ ما لا تَعْتَمِدُ على دَرجةِ حرارتِهِ فقطْ بلْ أيضًا على كمِّيَّةِ المادَّةِ الّتي يَحويها.

إلى اليسار

الحُدودُ القُصْوى لِدَرجاتِ الحرارةِ الّتي يُمكِنُ للحيواناتِ والنّباتاتِ (والبكتيريا) احْتِمالُها، فإمكانيَّةُ وُجودِ الحياةِ بأشكالِها المُختلفةِ مُتوافِرةٌ بين الدَّرجةِ – ٢٧٣° م والدَّرجةِ + ١٧٠° م، تحتَ ضُغوطٍ تُراوِحُ بينَ الصِّفرِ و ٨٠٠٠ ضَغْطٍ جَوِّيٍّ.

تستطيعُ اللّبوناتُ العَيشَ بين – ٦٥° م و + ٥٠° م فقطْ. والكوكبانِ الوحيدانِ اللّذانِ قد تتوافرُ فيهِما الظُّروفُ المَعيشيَّةُ لِبعضِ أشكالِ الحياةِ على الأرضِ هُما كوكبا المرِّيخِ والزُّهرةِ حيثُ يُحتمَلُ وُجودُ شكلٍ بدائيٍّ للحياةِ النَّباتيَّةِ هُناكَ.

إلى اليسار

أحدُ السُّبُلِ الَّتي نستفيدُ بواسطتِها من الطاقةِ الشَّمسيَّةِ. تستخدِمُ النَّباتاتُ ضوءَ الشَّمسِ لأجلِ نُمُوِّها، والنَّباتاتُ تأكلُها الحيواناتُ وهٰذهِ بدَورِها تُمِدُّ الإنسانَ بالغِذاءِ. والغِذاءُ يُزوِّدُنا بالطَّاقةِ اللازمةِ للقِيامِ بالأعمالِ المُختلِفةِ.

إلى اليمين

عِندما تصطَدِمُ بِليَّةٌ (كُلَّةٌ) متحرِّكةٌ بأُخرى ساكِنَةٍ فإنَّهما غالِبًا تتحرَّكانِ معًا. وتكونُ سُرعةُ تحرُّكِهما أقلَّ لأنَّ كميَّةَ التحرُّكِ الكُلِّيَّةَ تُقتَسَمُ بينَهُما.

إلى اليمين

عِندما تصدِمُ الكُرةُ المُزاحَةُ في إحدى نِهايَتَيْ هزَّازةِ نيوتُن صَفَّ الكُراتِ السَّاكِنَةِ الأُخرى المُعلَّقَةِ، فإنَّ طاقتَها تنتَقِلُ عَبرَ صَفِّ الكُراتِ إلى الكُرةِ الأخيرةِ فتُزيحُها. وهٰذهِ عِندَ عَودَتِها تُعيدُ الكرةَ فتُزيحُ الكُرةَ الأولى وهكذا. وإذا استخدَمْنا كُراتٍ صَقيلَةً مِنَ الفولاذِ وعلَّقْناها بخُيوطٍ دقيقةٍ فإنَّ كميَّةَ الطَّاقةِ المفقودةِ تكونُ قليلةً جدًّا وتستمِرُّ حركةُ الخَطَرانِ لِفترةٍ طويلةٍ.

إلى الأسفلِ يمينًا

إنَّ الطَّاقةَ الكبيرةَ المُتوافِرةَ في أشِعَّةِ اللَّيزر كافِيَةٌ لِحفرِ ثقبٍ عَبرَ صفيحةٍ سَميكةٍ مِنَ الألومنيوم (وكلِمةُ ليزر مُشتقَّةٌ من مجموعةِ كلِماتٍ إنكليزيَّةٍ معناها تضخيمُ الضَّوءِ بانبِعاثِ الإشعاعِ المُنشَّطِ).

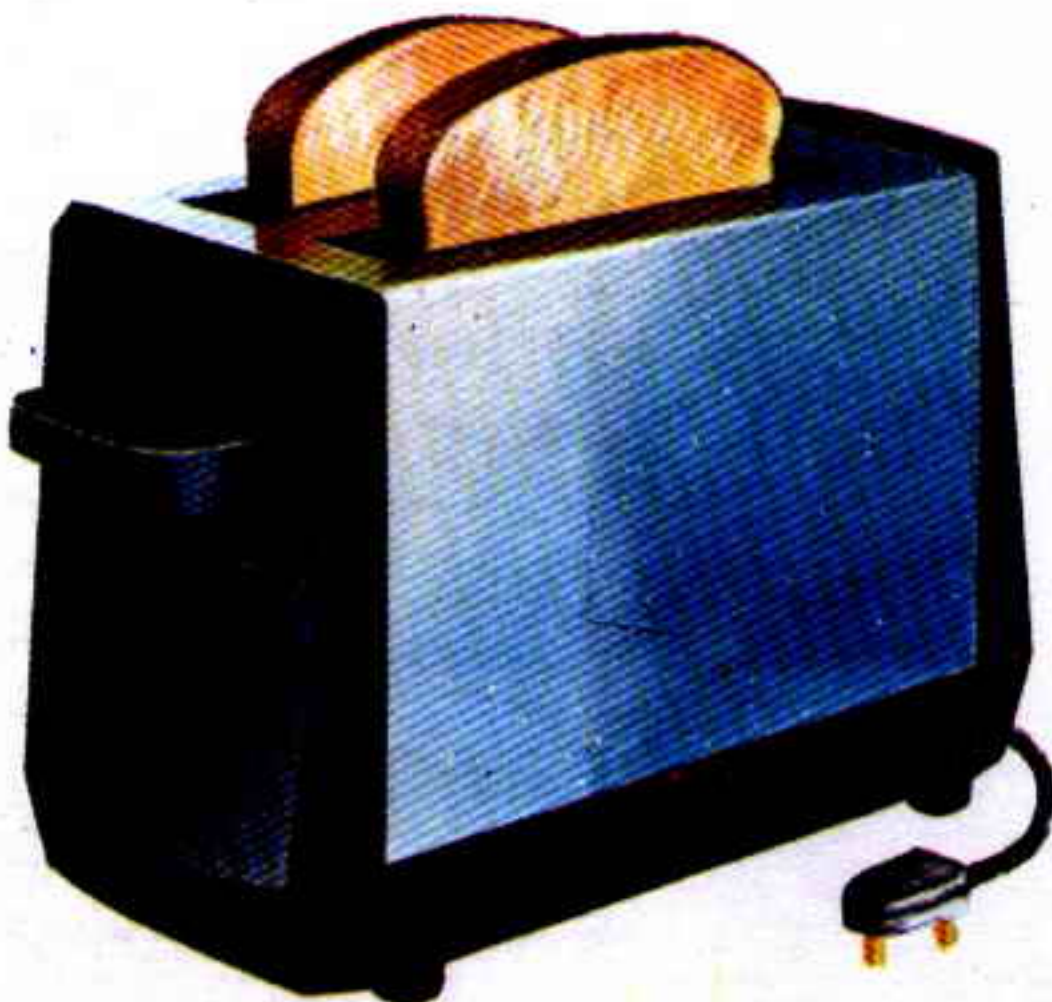
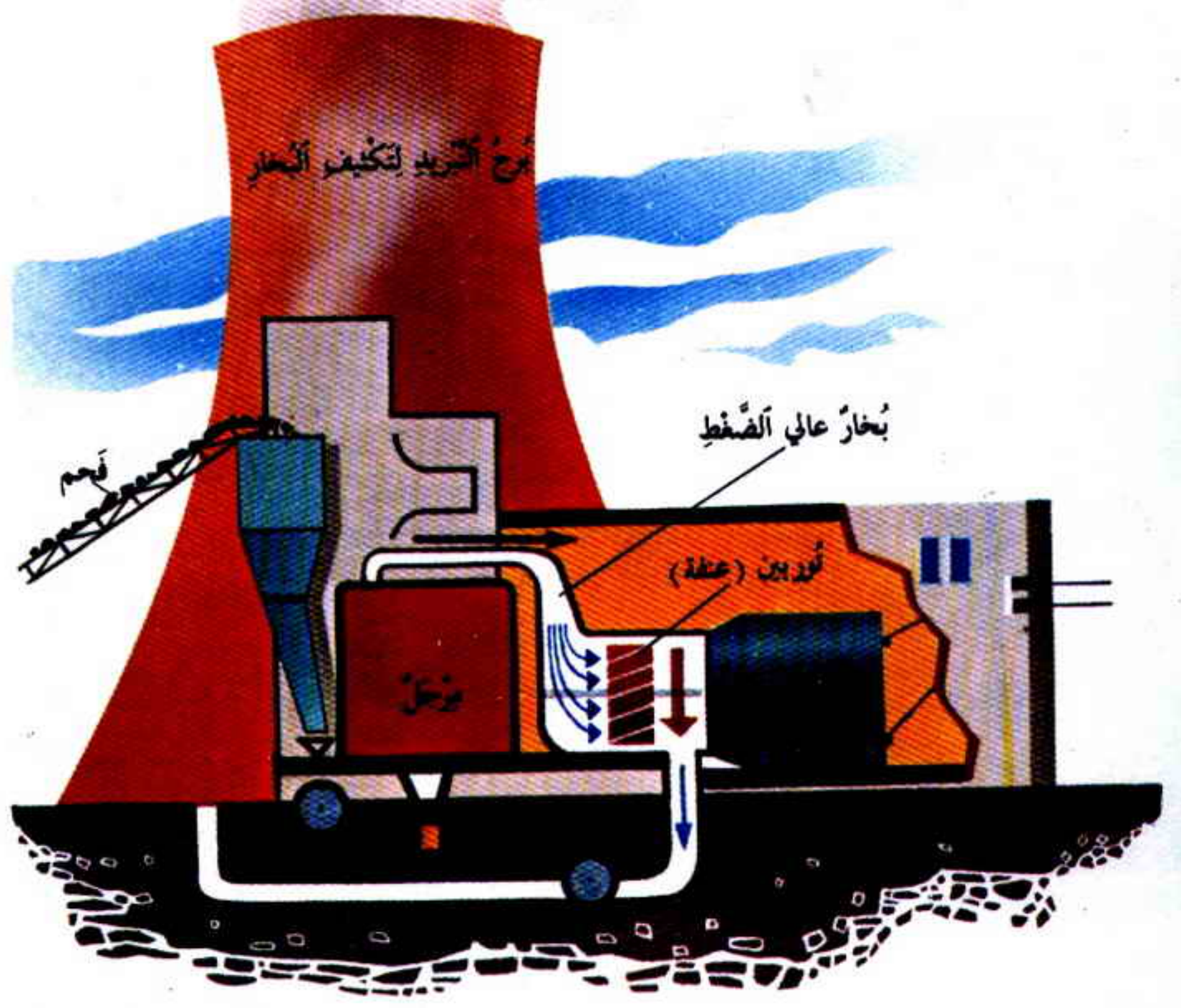
إلى الأسفلِ

يمرُّ التيَّارُ الكهربائيُّ في مِحمَصَةِ الخُبزِ الكهربائيَّةِ في أسلاكٍ مُقاومةٍ خاصَّةٍ. وهٰذهِ الأسلاكُ تسخُنُ كما تسخُنُ ملفَّاتُ أو قُضبانُ المِدفأةِ الكهربائيَّةِ. أي إنَّ الطَّاقةَ الكهربائيَّةَ هي أيضًا تتحوَّلُ إلى طاقةٍ حراريَّةٍ.

بقاءُ الطَّاقةِ

عِندما يُريدُ سائقُ السَّيَّارةِ إيقافَ سيَّارتِهِ المُنطلِقةِ بسرعةٍ فإنَّهُ يُعمِلُ المكابحَ (الفرامِلَ). وهو بذلكَ يُسلِّطُ قوَّةً على العجَلاتِ لإيقافِها عن الدَّورانِ. فإذا كانتْ سرعةُ السَّيَّارةِ ٧٠ كم/سا مثلاً فإنَّ القوَّةَ اللازمةَ لإيقافِها تكونُ أكبرَ مِمَّا لو كانَتْ سُرعتُها ٣٠ كم/سا. كذٰلِكَ فإنَّ إيقافَ شاحِنةٍ ضخمةٍ تسيرُ بسرعةِ ٧٠ كم/سا يتطلَّبُ قوَّةً أكبرَ من القوَّةِ المطلوبةِ لإيقافِ سيَّارةٍ تسيرُ بالسُّرعةِ نفسِها. وهذا يعودُ إلى أنَّ الشَّاحنةَ أثقلُ منَ السَّيَّارةِ بكثيرٍ وهذا يُكسِبُها كمِّيَّةَ تحرُّكٍ (زَخْمًا) أكبرَ.

فكمِّيَّةُ التَّحرُّكِ لا تعتمِدُ فقطْ على سرعةِ الجسمِ بل أيضًا على كُتْلتِهِ. فالشَّاحنةُ المُنطلِقةُ بسرعةِ ٧٠ كم/سا تتميَّزُ بكمِّيَّةِ تحرُّكٍ أكبرَ مِمَّا لو كانتْ تسيرُ بسُرعةِ ٣٠ كم/سا. إنَّ كمِّيَّةَ تحرُّكِ أيِّ جسمٍ تُساوي كُتلتَهُ مضروبةً في سُرعتِهِ.

وقدِ اكتشفَ العُلماءُ أنَّهُ لدى ارتِطامِ الأجسامِ

بِأَمْثِلَةٍ أُخرى. فَٱلفَحْمُ مَثَلاً يُحرَقُ في مَحطَّةِ تَوليدِ ٱلقُدرَةِ فَيُعطي حَرارةً، وَهٰذِهِ ٱلحرارةُ تُستَخدَمُ لإِنْتاجِ ٱلبُخارِ لِتَدْويرِ أَرياشِ ٱلتُّوربين (ٱلعَنَفَة). وَٱلتُّوربين بِدَوْرِهِ يُحَرِّكُ ٱلمُوَلِّدَ ٱلَّذي يَمُدُّنا بِٱلكهرباء. وفي ٱلمِدْفَأَةِ ٱلكهربائيَّةِ تتحوَّلُ ٱلطّاقةُ ٱلكهربائيَّةُ إلى حرارةٍ. وهٰكذا فإنَّ ٱلطّاقةَ ٱلكيماويَّةَ ٱلمخزونةَ في ٱلفحمِ قدِ ٱسْتُخْدِمَتْ لإِنْتاجِ ٱلطّاقةِ ٱلحرارِيَّةِ في ٱلمِدْفَأَةِ ٱلكهربائيَّةِ. ولكنْ يَجْدُرُ بِنا ٱلتَّذكيرُ هُنا بِأَنَّهُ في عَمَلِيَّةٍ كَهٰذِهِ لا يُمكِنُ ٱلاسْتِفادَةُ من كُلِّ ٱلطّاقةِ ٱلكيماوِيَّةِ في ٱلفحمِ لِٱسْتِخدامِها في ٱلمَدافِئِ أو في ٱلمُحرِّكاتِ ٱلكهربائيَّةِ. ذٰلك أنَّ قِسمًا من ٱلطّاقةِ يُفْقَدُ خِلالَ هٰذِهِ ٱلعمليَّةِ. فمثلاً في ٱلتُّوربين وَٱلمُوَلِّدِ تتولَّدُ حرارةٌ بِفِعْلِ ٱحْتِكاكِ ٱلأجزاءِ ٱلمُتحرِّكةِ فيهما. كما إنَّ قِسمًا من ٱلطّاقةِ ٱلكهربائيَّةِ يُسَخِّنُ ٱلأَسلاكَ وَٱلكابلاتِ ٱلنّاقلةَ للتّيّارِ ٱلكهربائيِّ وفي هذا كُلِّهِ فُقْدانٌ لِلطّاقةِ لا يُحَقِّقُ أيَّ غَرَضٍ مُفيدٍ. إلّا أنَّ ٱلَّذي يَهُمُّنا هُنا هُوَ أَنَّهُ لَيسَ هُناكَ من ضَياعٍ حَقيقِيٍّ لِلطّاقةِ، بَلْ فَقَطْ تَحَوُّلٌ مِن شَكْلٍ إلى آخَرَ.

فوق

تَستَخدِمُ مَحطَّةُ تَوليدِ ٱلقُدرَةِ ٱلكهروحرارِيَّةِ ٱلطّاقةَ ٱلحرارِيَّةَ ٱلمُختَزَنَةَ في ٱلفحمِ أو ٱلنِّفطِ. فَيُستَعمَلُ ٱلوَقودُ لإنتاجِ ٱلبُخارِ ٱلَّذي يُسَيِّرُ توربيناتٍ (عَنَفاتٍ) ٱلمُوَلِّدِ ٱلكهربائيّ. أمّا في مَحطَّةِ تَوليدِ ٱلقُدرةِ ٱلكَهْرَمائيَّةِ فإنَّ تَسْيِيرَ هٰذِهِ ٱلتّوربيناتِ يتِمُّ بِدَفْعِ تَيّارٍ مُستَمِرٍّ من ٱلماءِ مُستغلّاً ٱلطّاقةَ ٱلكامِنةَ لِلماءِ خَلفَ سَدٍّ أو في شَلّالٍ.

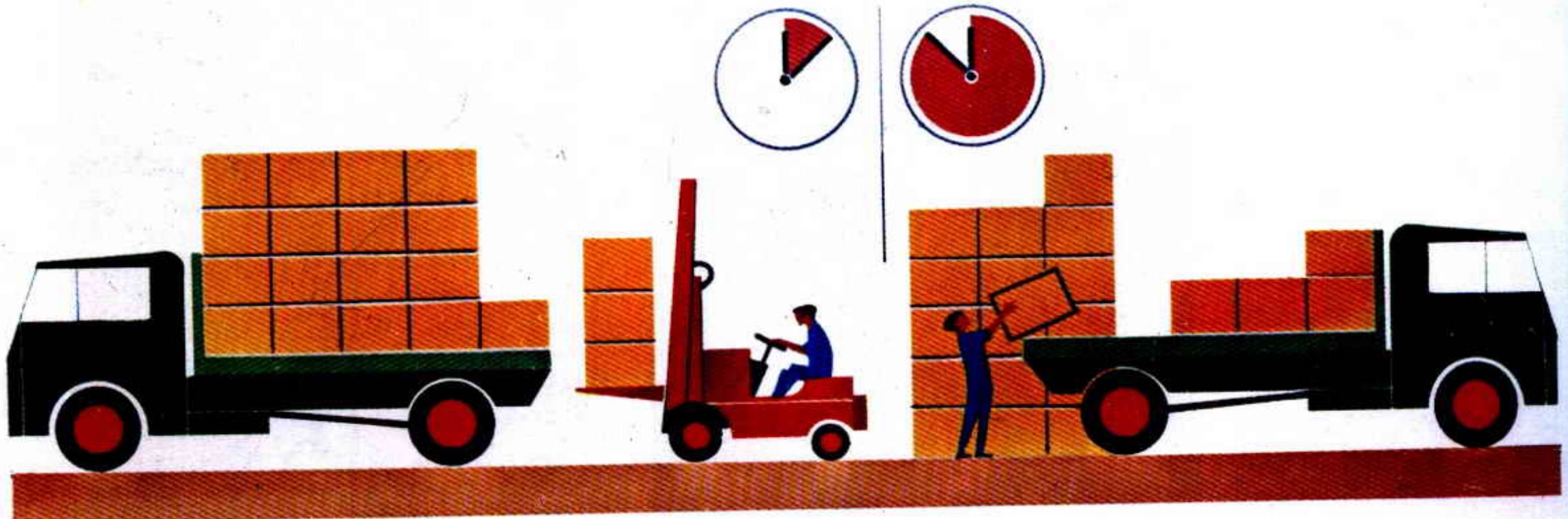
إلى ٱلأسفَلِ

هُنالِكَ فَرْقٌ بين ٱلطّاقةِ وَٱلقُدرةِ. فمثلاً يَحتاجُ ٱلرَّجُلُ ٱلعادِيُّ إلى وَقتٍ طويلٍ لِتَحميلِ هٰذهِ ٱلصَّناديقِ على ظهرِ ٱلشّاحِنَةِ. بينما يُمكِنُ إتمامُ هذا ٱلعَمَلِ بسرعةٍ بِواسطةِ ٱلمِرفاعِ ٱلشَّوكيّ. إنَّ كَمِّيَّةَ ٱلطّاقةِ ٱللّازِمةِ لإتمامِ ٱلعَمَلِ هي نَفْسُها في كِلتا ٱلحالَتَيْنِ لكنَّ قُدْرَةَ ٱلمِرفاعِ ٱلآليِّ أكبرُ، ممّا يُمَكِّنُها من إنجازِ ٱلعَمَلِ بِسُرْعَةٍ أكثرَ. فَٱلقُدرةُ بِٱلمفهومِ ٱلعلميِّ هي كَمِّيَّةُ ٱلشُّغْلِ ٱلَّتي يُمكِنُ إنجازُها في فَترَةٍ زَمَنِيَّةٍ مُحَدَّدَةٍ.

بِبعضِها أو تصادُمِها فإن كَمِّيَّةَ تحرُّكِها ٱلكُلِّيَّةَ لا تَتَغَيَّرُ. وَهذا ما يُسَمّى **بقانونِ بَقاءِ كَمِّيَّةِ ٱلتَّحَرُّكِ**. فإذا ما أَمْسَكْتَ بِشَخْصٍ يَقِفُ إلى جانِبِ مَدْرَجِ ٱلتَّزَلُّجِ في أثناءِ تَزَلُّجِكَ عَلى ٱلجَليدِ مَثَلاً، فإنَّكُما تَنْطَلِقانِ مَعًا ولكنْ بسرعةٍ أقلَّ من سرعتِكَ ٱلأصليَّةِ. وهذا يَعودُ إلى أنَّ كَمِّيَّةَ تَحَرُّكِكَ ٱلأَصْلِيَّةَ قدِ ٱقْتُسِمَتْ بينَ شَخْصَيْنِ.

إنَّ قانونَ بَقاءِ كَمِّيَّةِ ٱلتَّحَرُّكِ هُوَ أَحَدُ أَهَمِّ ٱلمَبادِئِ ٱلرَّئيسِيَّةِ في ٱلفيزياءِ. وَهُناكَ قانونٌ آخَرُ مُشابِهٌ هُوَ قانونُ بَقاءِ ٱلطّاقةِ وَيَنُصُّ عَلى أنَّ ٱلطّاقةَ لا تُخْلَقُ وَلا تَفْنى بل تَتَحَوَّلُ فَقَطْ من شكلٍ إلى آخَرَ. ولقد ذَكَرْنا بعضَ ٱلأمْثِلَةِ عَنْ تغيُّراتِ ٱلطّاقةِ هذهِ في ٱلصَّفحةِ ٧٦، وَمِنَ ٱلسَّهلِ ٱلتَّفكيرُ

في عُصورِ ما قَبْلَ ٱلتّاريخِ ٱسْتَخْدَمَتِ ٱلأشجارُ وَٱلنَّباتاتُ ٱلمُختلفةُ ٱلنّاميةُ على مَرِّ ٱلدُّهورِ ٱلطّاقةَ ٱلضَّوئيَّةَ وَٱلحرارِيَّةَ مِنَ ٱلشَّمسِ. ثُمَّ تَحَوَّلَتْ هٰذِهِ ٱلنَّباتاتُ تَدْرِيجيًّا إلى وُقُدٍ كَٱلفحمِ وَٱلنِّفطِ وَٱلغازِ ٱلطَّبيعِيِّ. ونحنُ عندَما نَستَخدِمُ أنواعَ ٱلوَقودِ هٰذِهِ فإنَّ ٱلطّاقةَ ٱلَّتي نحصُلُ عليها هي نَفْسُ ٱلطّاقةِ ٱلَّتي وَصَلَتْ للأرضِ من ٱلشَّمسِ في ٱلعُصورِ ٱلغابرةِ مُخْتَزَنَةً في بَقايا ٱلكائناتِ ٱلعُضْوِيَّةِ على شَكْلِ طاقةٍ كيميائيَّةٍ.

وفي مَدى ٱلثَّلاثينَ سَنَةً ٱلأخيرَةِ ٱكْتَشَفَ ٱلإنسانُ مَصْدرًا جديدًا لِلطّاقةِ لا يزالُ في مَرحلةِ ٱلتَّطويرِ هُوَ ٱلطّاقةُ ٱلنَّوَوِيَّةُ (انظر الصفحة ١٩٨).

اَلذَّرّاتُ وَالجُزَيْئاتُ

كانَ فَلاسِفَةُ اليونانِ القُدَماء يَتَناقَشونَ فيما بَيْنَهُمْ حَوْلَ طَبيعَةِ المادَّةِ. فكانوا يَتَساءَلونَ عَمّا يَنْتَهي إلَيهِ تَقْسيمُ قَضيبٍ مَعْدِنِيٍّ بِاسْتِمرارٍ إلى أَجْزاءٍ أَصْغَرَ فَأَصْغَرَ. هَلْ يُمكِنُ مُواصَلَةُ التَّقْسيمِ إلى ما لا نِهاية، أم إنَّ هُناكَ حَدًّا تَتَوَقَّفُ عِنْدَهُ إمكانِيَّةُ التَّقْسيمِ عِنْدَ الوُصولِ إلى الذَّرَّةِ أي الجُسَيْمِ الَّذي لا يَنْقَسِمُ؟ وَلَمْ تَكُنْ لَدَيْهِمْ وَسيلَةٌ لإثْباتِ صِحَّةِ أيٍّ مِنَ النَّظَرِيَّتَيْنِ.

وَلَمْ تُحَلَّ هٰذِهِ المُشْكِلَةُ بِشَكْلٍ مَقْبولٍ إلّا حينَ تَقَدَّمَ العالِمُ الإنكليزِيُّ جون دالْتون، في بِدايَةِ القَرْنِ التّاسِعَ عَشَرَ، بِنَظَرِيَّتِهِ الذَّرِّيَّةِ. وَتَبَعًا لِهٰذِهِ النَّظَرِيَّةِ، فإنَّهُ لا يُمكِنُ تَقْسيمُ المادَّةِ إلى ما لانِهايَةَ، دُونَ تَغْييرِ طَبيعَتِها. وَاعْتَبَرَ دالْتون أنَّ كُلَّ شَيْءٍ يَتَرَكَّبُ مِن جُسَيْماتٍ غيرِ قابِلَةٍ لِلانْقِسامِ، هِيَ **الذَّرّاتُ**. وَلَقَدْ تَمَثَّلَ هٰذِهِ الذَّرّاتِ عَلى شَكْلِ كُرَيّاتٍ مُتَناهِيَةِ الصِّغَرِ، تَتَرابَطُ مَعًا في مَجْموعاتٍ أَطْلَقَ عَلَيْها اسْمَ **الجُزَيْئات**.

وَقَد ساعَدَتْ مُلاحَظاتُ العالِمِ النَّباتِيِّ روبرت براوْن عَلى تَدْعيمِ هٰذِهِ النَّظَرِيَّةِ كَثيرًا. فَقَدْ لاحَظَ براوْن أنَّ حُبَيْباتِ غُبارِ الطَّلْعِ في الماءِ تَتَحَرَّكُ بِشَكْلٍ عَشْوائيٍّ. ولقد تَأَكَّدَ فيما بَعْدُ أنَّ جُزَيْئاتِ الماءِ، الَّتي هيَ أَصْغَرُ بِكثيرٍ من أن تُرى، تَصْدِمُ حُبَيْباتِ الطَّلْعِ باسْتِمرارٍ مُكْسِبَةً إيّاها تِلكَ الحَرَكَةَ العَشْوائيَّةَ.

تَخَيَّلْ مُنْطادًا ضَخْمًا وَسَطَ حَشْدٍ من النّاسِ غَيْرِ المَرئِيِّينَ. إنَّ هٰذا المُنطادَ يَرْتَجُّ بِحركاتٍ ارْتِعاشِيَّةٍ كُلَّما ارْتَطَمَ بِهِ النّاسُ مِن حَولِهِ. وَهذا يُشْبِهُ ما يَحْدُثُ لحُبَيْباتِ غُبارِ الطَّلْعِ الطّافِيَةِ عَلى سَطحِ الماءِ.

وَتُفَسِّرُ النَّظَرِيَّةُ الذَّرِّيَّةُ عَدَدًا كَبيرًا مِن خواصِّ المَوادِّ الصُّلْبَةِ، الغازِيَّةِ وَالسّائلَةِ. فَالذَّرّاتُ وَالجُزَيْئاتُ في المَوادِّ الصُّلْبَةِ ثابِتَةٌ في أماكِنِها فَلا تَسْتَطيعُ تَبادُلَ المَواقِعِ مَعَ جاراتِها، وَيُمكِنُها فَقَطْ أَنْ تَهْتَزَّ وَهي في مَوْضِعِها. وَتَنْتَظِمُ ذَرّاتُ وَجُزَيْئاتُ المَوادِّ الصُّلْبَةِ في هَيكَلِيَّةٍ مُحَدَّدَةٍ يُطْلَقُ عَلَيها اسْمُ البِلَّوْرَةِ. وَهذا يُفَسِّرُ عَدَمَ إمْكانِيَّةِ تَغْييرِ شَكْلِ المَوادِّ الصُّلْبَةِ بِسُهولَةٍ.

أمّا جُزَيْئاتُ المَوادِّ السّائلَةِ فأقَلُّ تَمَسُّكًا بِمَواقِعَ ثابِتَةٍ، فهي أَيضًا تَهْتَزُّ بِاسْتِمرارٍ كما إنَّهُ يُمكِنُها التَّحَرُّكُ وَتَبادُلُ

ديمقريطس

فَوقُ

كانَ العالِمُ الإغريقيُّ ديمُقريطس (القرن الخامس ق. م.) يَعْتَقِدُ بِأنَّ المادَّةَ تَتَأَلَّفُ من ذَرّاتٍ تَتَحَرَّكُ في مَجالٍ فارِغٍ. وَقَدْ بَنى فِكْرَتَهُ هٰذِهِ عَلى المَنْطِقِ لا عَلى التَّجْرِبَةِ وَالاخْتِبارِ. وَقَدْ خالَفَهُ أرِسْطُو الرَّأْيَ مُتَسائلاً عَمّا يُمكِنُ أنْ يَحْتَوِيَهُ هٰذا المَجالُ بينَ الذَّرّاتِ.

إلى اليَمينِ

كانَ عُلَماءُ الكيمياءِ القديمةِ يَمْزِجونَ بَيْنَ العِلْمِ وَبَيْنَ الدِّينِ وَالفَلْسَفَةِ. كَما اتَّصَلَتِ الكيمياءُ القَديمَةُ بِعِلْمِ الفَلَكِ. وَيُبَيِّنُ جَدْوَلُ الرُّموزِ هٰذا كَيفِيَّةَ ارْتِباطِ كُلِّ فِلِزٍّ مَعْدِنِيٍّ بِكَوكَبٍ مُعَيَّنٍ.

الحَديدُ	القَصْدير	الزِّئْبَق	النُّحاس	الفِضَّة	الذَّهَب
المِرِّيخ	المُشْتَري	عُطارِد	الزُّهَرَة	القَمَر	الشَّمْس

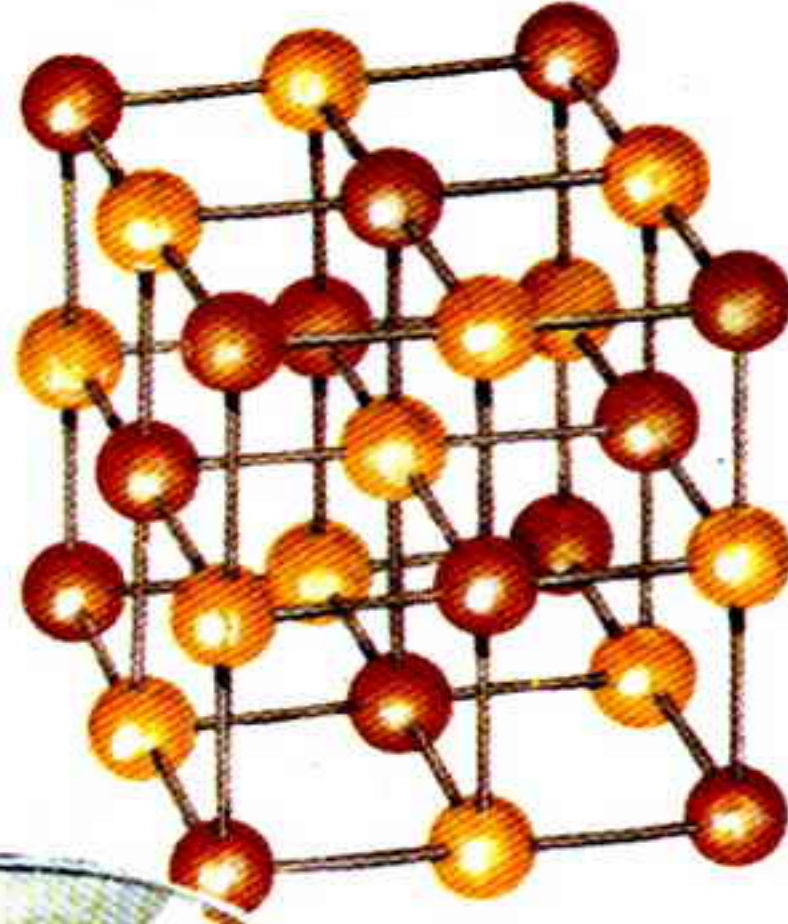
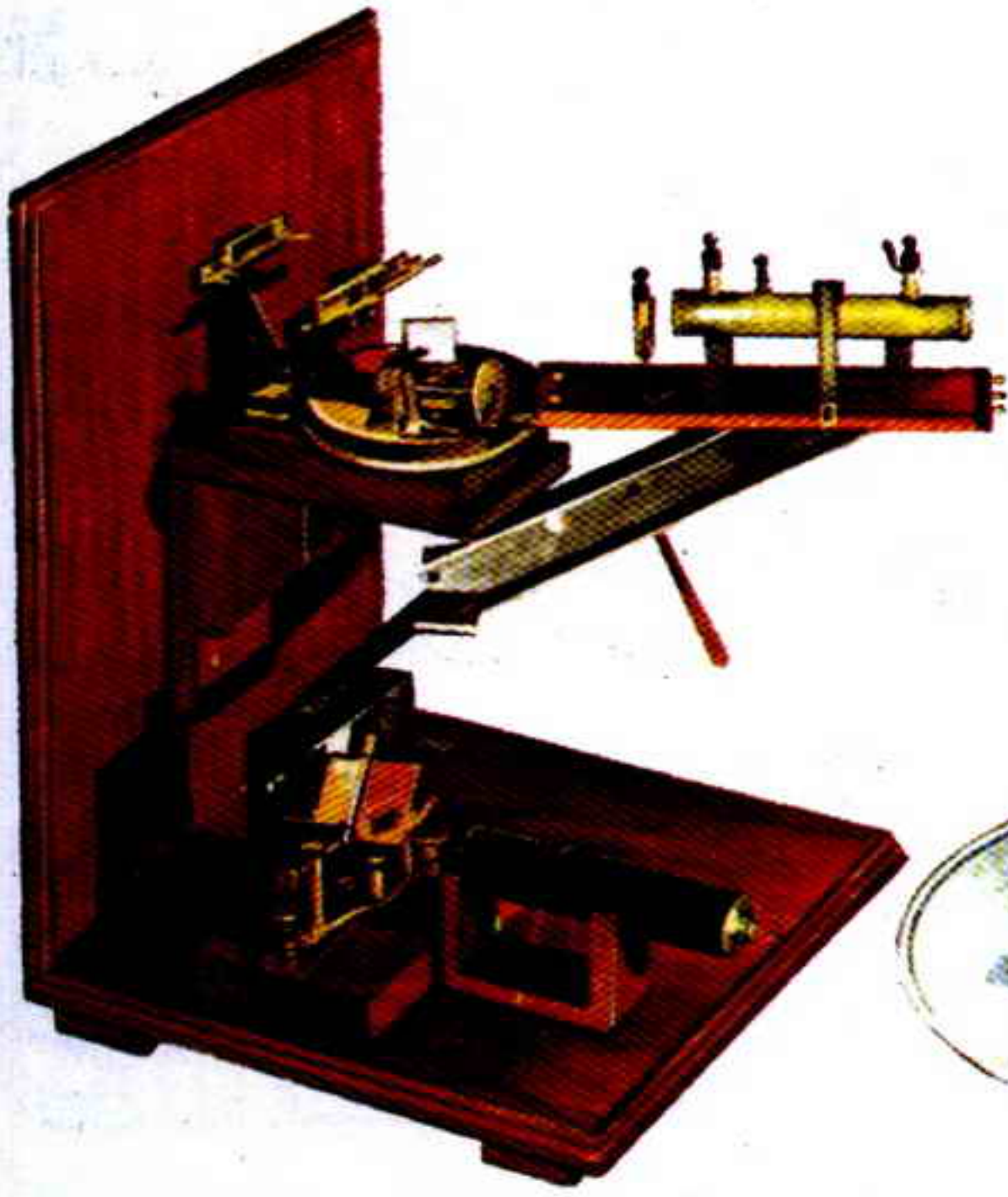
إلى اليَمينِ

يُعْتَبَرُ جُون دالْتون (١٧٦٦ – ١٨٤٤) مُؤَسِّسَ النَّظَرِيَّةِ الذَّرِّيَّةِ الحَديثَةِ. وَلَقَدْ أَجْرى عَدَدًا من التَّجارِبِ الدَّقيقَةِ لإثْباتِ نَظَرِيَّتِهِ. وَاهْتَمَّ إضافَةً إلى ذٰلِكَ بِدِراسَةِ الغازاتِ وَالطَّقْسِ، كما اكْتَشَفَ عَمى الأَلْوانِ لَدى بَعْضِ النّاسِ (وكانَ هُوَ واحِدًا مِن هؤلاء).

إلى أقْصى اليَمين

جَدْوَلٌ يُظْهِرُ الرُّموزَ وَالأَوزانَ الذَّرِّيَّةَ لِبعضِ «العَناصِرِ» وَضَعَهُ جونْ دالْتون ما بين ١٨٠٨ – ١٨١٠.

ELEMENTS

Element		Weight
Hydrogen	الهيدروجين	1 / ١
Azote	الآزوت	5 / ٥
Carbon	الفحم	5 / ٥
Oxygen	الأوكسيجين	7 / ٧
Phosphorus	الفسفور	9 / ٩
Sulphur	الكبريت	13 / ١٣
Magnesia	المغنيزيا	20 / ٢٠
Lime	الكلس	24 / ٢٤
Soda	الصودا	28 / ٢٨
Potash	البوتاس	42 / ٤٢
Strontian	السترونشيوم	46 / ٤٦
Barytes	الباريت	68 / ٦٨
Iron	الحديد	50 / ٥٠
Zinc	الخارصين	56 / ٥٦
Copper	النحاس	56 / ٥٦
Lead	الرصاص	90 / ٩٠
Silver	الفضة	190 / ١٩٠
Gold	الذهب	190 / ١٩٠
Platina	البلاتين	190 / ١٩٠
Mercury	الزئبق	167 / ١٦٧

إلى اليسار

تتألّفُ بلّورةُ ملحِ الطّعامِ من ذرّاتٍ مُتعاقِبةٍ من الصّوديوم والكلور في نِظامٍ مُربّعيٍّ التّشابُك. وتَعمَلُ قوّةُ التّجاذُبِ بينَ الذّرّاتِ على إكسابِ البلّورةِ بنيةً متماسِكةً صُلبةً. ويتألّفُ جزيءُ الملحِ من ذرّةٍ من الكلور وذرّةٍ من الصّوديوم مُرتَبِطتَينِ ببعضِهما. وهكذا تتألّفُ البلّورةُ من مجموعاتٍ مُنسّقةٍ من هذهِ الجُزيئات.

(وفي أقصى اليسارِ) مِطيافُ التّأيُّن الّذي استَعملَهُ السّير ويليام براغ لِدِراسةِ البنيةِ البلّوريّة.

فوقُ

تتحرّكُ جُزيئاتُ المادّةِ السّائلةِ بسرعةٍ أكبرَ عِندَ تسخينِها، فيتحرّرُ بعضُها من سَطحِ السّائلِ وهذا ما يُسمّى بالتّبخُّر. أمّا عمليّةُ تحرُّرِ جُزيئاتِ المادّةِ السّائلةِ مكوِّنةً فقاقيعَ داخلَ جِسمِ السّائلِ فتُسمّى بالغَلَيان. وتتكاثفُ الغازاتُ والأبخرةُ عِندما تُلامِسُ سَطحًا بارِدًا، حيثُ تُعطي السّطحَ البارِدَ كمّيّةً من حرارتِها فتَقِلُّ طاقتُها وقُدرتُها على الحركةِ بحرّيّةٍ. وهو ما يحدُثُ عندما ترى بُخارَ الماءِ يتكاثفُ قطراتٍ على مرآةِ غُرفةِ الحمّام.

المَواقِعِ معَ جاراتِها. وهكذا يُمكِنُ لِلسّوائلِ أنْ تُغيّرَ من شكلِها وأنْ تنسابَ من مكانٍ إلى آخرَ.

وفي الغازاتِ تكونُ الذّرّاتُ والجُزيئاتُ مُتباعِدةً كثيرًا وتتحرّكُ بسرعةٍ كبيرةٍ. لِذا فبإمكانِها التّحرُّكُ بحرّيّةٍ بحيثُ تَملأُ كاملَ الوِعاءِ الّذي يَحتويها.

وتَملِكُ الجُزيئاتُ في المادّةِ الصُّلبةِ والسّائلةِ والغازيّةِ **طاقةً حركيّةً** نتيجةَ لحركتِها واهتِزازاتِها، وتزدادُ هذهِ الطّاقةُ بازديادِ درجةِ الحرارةِ. وعِندَ تسخينِ جِسمٍ صُلبٍ تهتزُّ جُزيئاتُهُ بسرعةٍ أكبرَ كما إنّ درجةَ حرارتِهِ الكُلّيّةَ تزدادُ. ونتيجةً لازديادِ سُرعةِ الاهتِزازِ، فإنّ الجُزيئاتِ تتحرّرُ تدريجيًّا من مواقِعِها الثّابتةِ وهذا ما يحدُثُ في الواقِعِ عندما ينصهِرُ الجسمُ الصُّلبُ. وبازديادِ التّسخينِ تتحرّرُ جُزيئاتٌ أُخرى حتّى يتِمَّ انصِهارُ الجسمِ كُلِّهِ. ثُمّ تأخُذُ درجةُ الحرارةِ، الّتي تظلُّ ثابتةً طَوالَ فترةِ الانصِهارِ، في الارتِفاعِ مُجدّدًا. وبازديادِها تزدادُ حركةُ الجُزيئاتِ شِدّةً إلى حدِّ أنّ بعضَها يتحرّرُ مِن سَطحِ السّائلِ لِيتبخّرَ مُنطلِقًا في الهواءِ. وهُنا تبدأُ عمليّةُ الغَلَيانِ. وتبقى درجةُ حرارةِ السّائلِ خِلالَها ثابتةً حتّى انتِهاءِ تبخُّرِ السّائلِ كُلِّهِ.

ويُمكِنُ أنْ تتِمَّ هذهِ العمليّاتُ في الاتّجاهِ المُعاكِسِ أيضًا وذلِكَ عِندما يُبرَّدُ غازٌ ما. فتَبقى درجةُ الحرارةِ ثابتةً طَوالَ فترةِ **التّكاثُفِ**، كما تبقى ثابتةً أيضًا طَوالَ فترةِ **التّجمُّدِ**.

إلى اليسار

شكّكَ أرِسطو في طبيعةِ المادّةِ الذّرّيّةِ لأنّهُ استبعَدَ إمكانيّةَ وُجودِ فراغٍ بين الذّرّاتِ. ولكنّ تجربةً بسيطةً كانَ يُمكِنُ أنْ تُبيّنَ لهُ خطأهُ. خُذْ عِيارًا مُدرّجًا واملأهُ بالماءِ إلى مُستوى مُعيّنٍ، ثمّ أضِفْ إليهِ كمّيّةً منَ الملحِ ولاحِظْ أنّهُ مهما كانتْ كمّيّةُ الملحِ الذّائبِ فإنّ حجمَ الماءِ لن يتغيّرَ. فهذهِ التّجربةُ تُبيّنُ أنّ ذرّاتِ الملحِ قد تداخلَتْ بينَ جُزيئاتِ الماءِ.

اَلتَّوصيلُ والْعَزْلُ

إذا طَلَيْتَ نَصْلَ سِكِّينٍ بِالزُّبْدِ ثُمَّ قَرَّبْتَهُ من لَهَبِ شَمعةٍ فإنِ الزُّبْدَ يَنصَهِرُ بسرعةٍ وَيحدُثُ الانصِهارُ أَوَّلاً في طَرَفِ السِّكينِ المُعَرَّضِ للَّهبِ ثمَّ يَنْتَقِلُ تَدْريجيًّا نَحوَ الطَّرَفِ الآخَرِ. أي إنَّ حَرارَةَ اللَّهَبِ تَنتقِلُ عَبْرَ نَصْلِ السِّكِّينِ. وَظاهِرَةُ انْتِقالِ الحرارَةِ هٰذِهِ خِلالَ أيِّ جسمٍ صُلبٍ، كَالسِّكِّينِ مَثلاً، تُسَمَّى **التَّوصيلَ**.

ويعودُ انتقالُ الحرارةِ في الجسمِ الصُّلْبِ إلى حَرَكةِ الجَزيئاتِ وَالذَّرّاتِ. فَعِندما تسخُنُ الجزيئاتُ القريبةُ مِنَ اللَّهَبِ يَتزايَدُ تَذَبْذُبُها (أيْ تَهْتَزُّ جَيْئَةً وَذَهابًا بسرعةٍ أكبَرَ)، وهذا يزيدُ من طاقتِها. وتصطدِمُ هٰذهِ الجُزَيئاتُ المُزَوَّدَةُ الطّاقةِ بِالجُزَيئاتِ المُجاوِرَةِ لَها فَتزيدُ منْ سُرْعَةِ تَحَرُّكِها، وَهٰكذا دَوالَيْكَ حتّى تُصْبِحَ جميعُ جُزَيئاتِ الجِسمِ الصُّلْبِ في حالَةِ اهتِزازٍ سريعٍ وَتزدادُ تَبعًا لِذٰلكَ طاقَتُها. هٰذِهِ الطّاقَةُ هي طاقةٌ حَراريَّةٌ، وَبِانتِقالِها عَبْرَ نَصْلِ السِّكِّينِ تَرتفِعُ دَرَجَةُ الحرارةِ في كُلِّ أَجزائِهِ.

بعضُ الأجسامِ الصُّلْبَةِ أكثَرُ مُوصِلِيَّةً لِلحرارةِ من بعضِها الآخَرِ. فَالفِلِزّاتُ المَعْدِنِيَّةُ كَالنُّحاسِ وَالألومنيوم وَالفِضَّةِ جيِّدةُ المُوصِلِيَّةِ. أما اللافِلِزّاتُ كَالزُّجاجِ وَالخَشَبِ وَالمَطّاطِ وَاللَّدائنِ (البلاستيك) فَرديئَةُ المُوصِلِيَّةِ، وَيُطْلَقُ عَلَيها اسْمُ **العَوازِلِ**.

وَالمَعروفُ أنَّ المَوادَّ الجَيِّدَةَ التَّوصيلِ للحَرارَةِ، كَالنُّحاسِ مَثلاً، هيَ أَيضًا جَيِّدَةُ التَّوصيلِ لِلكهرباءِ. وكذلكَ فإنَّ المَوادَّ الجيِّدةَ العَزلِ الحراريِّ هي أيضًا جَيِّدَةُ العَزلِ الكَهربائيِّ.

يُلاحَظُ عِنْدَ تَسخينِ السِّكِّينِ أنَّ مِقبضَها لا يَسْخُنُ وَالسَّبَبُ في ذلِكَ أنَّ أَغلَبَ مَقابِضِ السَّكاكينِ وَمَماسِكِ القُدورِ مَصنوعَةٌ من مَوادَّ عازِلَةٍ. أما القُدورُ وَالطَّناجِرُ فَتُصْنَعُ من معادِنَ تسمحُ بِانتقالِ الحرارةِ بسهولةٍ من المَوْقِدِ إلى داخِلِ القِدْرِ.

وَمُعْظَمُ السَّوائلِ رَديئَةُ التَّوصيلِ للحرارةِ. فَيُمْكِنُ مَثلاً حِفظُ الحليبِ بارِدًا في الصَّيفِ بِوَضعِ زُجاجَةِ الحليبِ في سَطْلٍ من الماءِ البارِدِ. وَالغازاتُ أيضًا رديئَةُ التَّوصيلِ للحرارةِ. فَالملابسُ الصُّوفيَّةُ تَمْنَعُ فُقدانَ الحرارةِ منَ الجسمِ لأنَّ الهَواءَ المُحْتَبَسَ بينَ خُيوطِ الصُّوفِ رَديءُ التَّوصيلِ لِلحرارةِ. وَتُساعِدُ الطَّبَقةُ الهوائيَّةُ المُحْتَبَسَةُ بينَ قَميصَينِ داخلِيَّينِ على تَحسينِ العَزْلِ وحِفظِ حَرارةِ الجسمِ من التَّسَرُّبِ إلى الهواءِ الخارِجيِّ البارِدِ.

تُسْتَخْدَمُ المُوَصِّلاتُ الجيِّدَةُ لِتَسْهيلِ انْسيابِ

إلى الأسفلِ

تُبيِّنُ هذهِ التجربةُ كيفيةَ انتِقالِ الحرارةِ بِبُطْءٍ عبرَ النصلِ المَعْدِنيِّ.

إلى اليَسارِ

في كَثيرٍ من الحالاتِ يَهمُّنا عدمُ انتقالِ الحرارةِ فنستعملُ العوازلَ لذلك. وفيما يلي بعضُ الأمثلةِ الشائعةِ. تُستَعمَلُ الملاعِقُ الخَشَبيَّةُ في الطَّبخِ لأنَّ الملاعِقَ المعدِنيَّةَ تسخُنُ بسرعةٍ. كما تُستخدَمُ الموادُّ العازِلَةُ في سَقفِ المَنزِلِ مِن أجْلِ حِفظِ الحرارةِ في داخِلِهِ. وَكذلِكَ تُغلَّفُ الأنابيبُ بِالقُماشِ لِوِقايَتِها مِنَ التَّجَمُّدِ في الشِّتاءِ.

ٱلحرارةِ ، أمّا ٱلعوازِلُ فتُسْتَعْمَلُ لِتقْليلِ هٰذا الأنْسِيابِ إلى ٱلحدِّ ٱلأدْنى . فجهازُ تَبريدِ مُحَرِّكِ ٱلسيارةِ مثلاً مَصنوعٌ من مَعْدِنٍ جيِّدِ ٱلتَّوصيلِ . وَٱلماءُ ٱلمَوْجودُ بِداخِلِهِ يُسْتَخْدَمُ لِتَبْريدِ ٱلمُحَرِّكِ ، فيسخُنُ ٱلماءُ نتيجةً لذلكَ . لكنَّ مَعْدِنَ جهازِ ٱلتَّبريدِ يُبَدِّدُ تِلكَ ٱلحَرارَةَ وَيُبْقي درجةَ حَرارةِ ٱلماءِ خَفيضَةً نوعًا . كَذٰلِكَ يَحْفَظُ كيسُ ٱلمَطّاطِ ٱلماءَ ساخِنًا لِفَتْرَةٍ طويلَةٍ . وَتُسْتَعْمَلُ كَمِّيَّةُ ٱلحَرارةِ ٱلقَليلَةُ ٱلَّتي تَتَسَرَّبُ مِنْهُ تَدريجيًّا لِتَدْفِئَةِ ٱلفِراشِ . وَٱلفِراشُ بِدَورِهِ يَبقى دافِئًا لأنَّ ٱلهواءَ ٱلسّاخِنَ يَبقى مُحْتَبَسًا بينَ ٱلبَطّانِيّاتِ . وَهُناكَ تَطبيقاتٌ أُخرى عَلى ٱسْتِخْدامِ ٱلعَزْلِ ٱلحَراريِّ كَتَغْليفِ ٱلأنابيبِ وَمَراجِلِ ٱلمِياهِ ٱلسّاخِنَةِ بِٱلمَوادِّ ٱلعازِلَةِ . فَٱلتَّغليفُ يُخَفِّفُ من فُقدانِ حَرارَةِ ٱلماءِ ٱلسّاخِنِ وَيُوَفِّرُ في ٱسْتِعمالِ ٱلوَقودِ . وَكَذٰلِكَ تُغَلَّفُ أنابيبُ دَورَةِ ٱلمِياهِ لِوِقايَتِها مِنَ ٱلتَّجَمُّدِ خِلالَ فَصْلِ ٱلشِّتاءِ ٱلبارِدِ ، (فَٱلماءُ يَزدادُ حَجْمُهُ عِنْدَ ٱلتَّجَمُّدِ وَهٰذا يُؤَدّي إلى ٱنفِجارِ ٱلأنابيبِ أَوْ تَصَدُّعِها) .

إلى ٱليمين

تُسْتَعْمَلُ ٱلألواحُ ٱلزُّجاجِيَّةُ ٱلمُزْدَوِجَةُ لإبقاءِ ٱلمَنزِلِ دافِئًا . فهيَ تَحتَبِسُ طَبَقَةً مِنَ ٱلهواءِ بينَ ٱللَّوحَينِ ، وَحَيثُ إنَّ ٱلهواءَ مُوَصِّلٌ رَديءٌ لِلحرارةِ فإنَّهُ يُخَفِّفُ كثيرًا من فُقدانِ ٱلحَرارَةِ مِنَ ٱلمَنْزِلِ وَيُوَفِّرُ بِٱلتّالي مِنْ نَفَقاتِ ٱلوَقودِ .

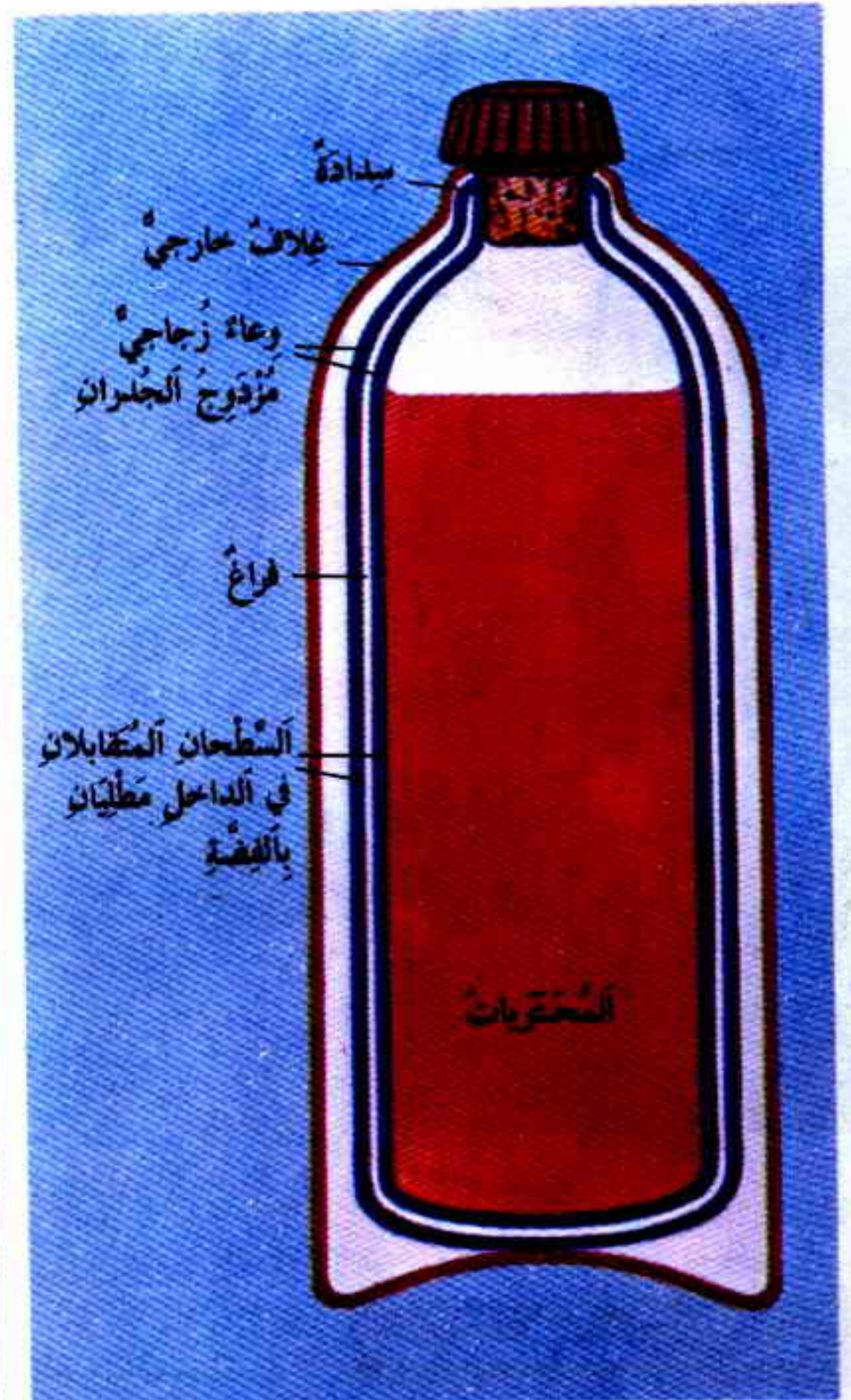
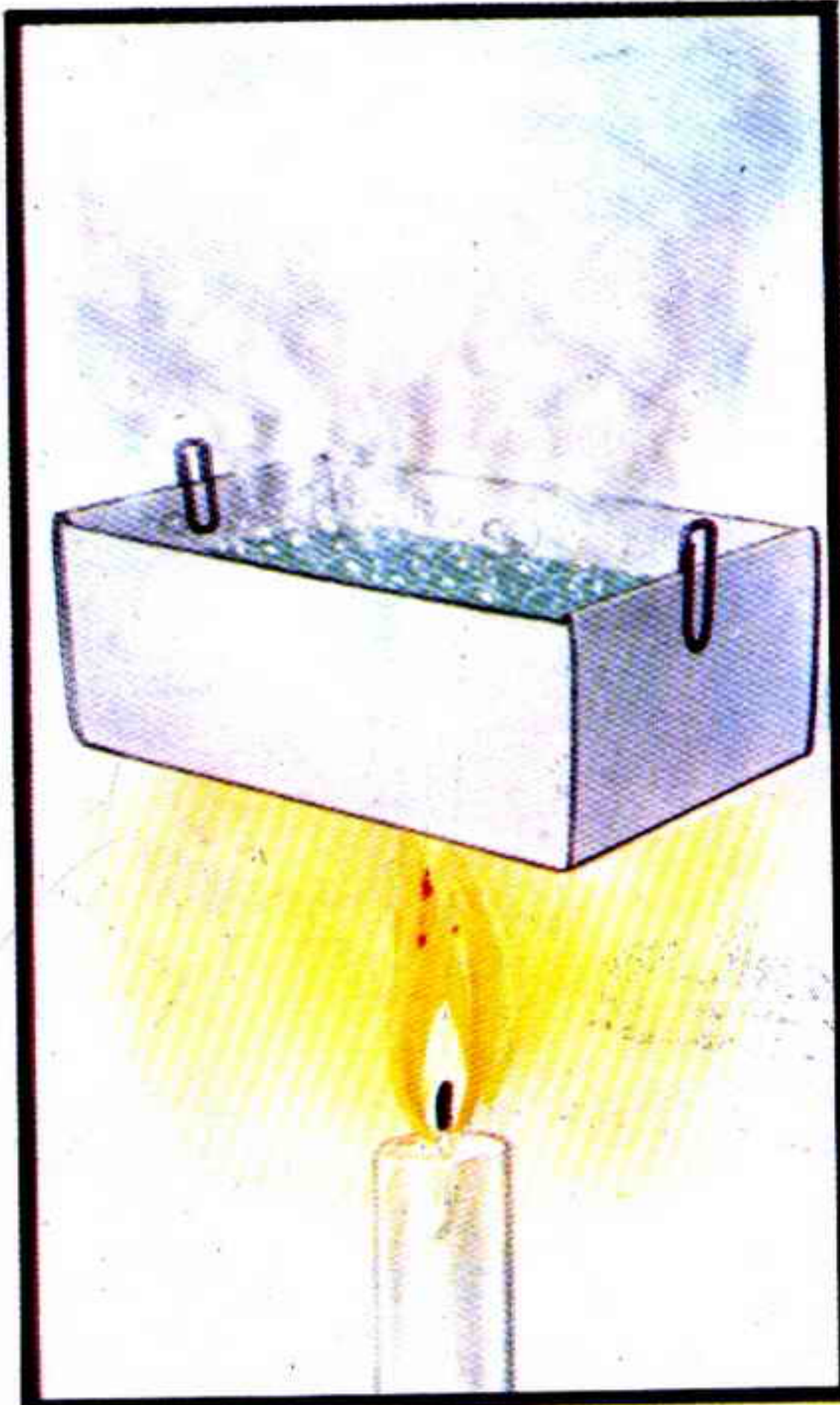
إلى ٱلأسفل

تَعْمَلُ جُيوبُ ٱلقَميصِ ٱلدّاخِليِّ وَخَلايا ٱلبَطّانِيَّةِ ٱلمَحوكَةِ مِنَ ٱلصّوفِ عَلى مَنْعِ تَسَرُّبِ ٱلحَرارَةِ بِفِعْلِ ٱلهواءِ ٱلمُحْتَبَسِ فيها . وإذا وُضِعَتْ بَطّانِيَّةٌ واسِعَةُ ٱلحَبْكِ بينَ بَطّانِيَّتَيْنِ أُخْرَيَيْنِ فإنَّها تَحْتَبِسُ طَبَقَةً أَكثَفَ مِنَ ٱلهواءِ وَتَزيدُ من فَعالِيَةِ ٱلعَزْلِ ٱلحَراريِّ .

إلى أقصى ٱليمين

ٱلفَراغُ لا يُوَصِّلُ ٱلحَرارَةَ ، وَيعودُ ذلكَ إلى عَدَمِ وُجودِ جُزَيئاتٍ تَنقُلُ ٱلحرارَةَ . وَتُسْتَخْدَمُ ٱلقارورَةُ ٱلخَوائِيَّةُ (ٱلتّرموس) لِحِفظِ ٱلأشياءِ بارِدَةً أو ساخِنَةً . فَٱلزُّجاجَةُ ٱلدّاخِلِيَّةُ في ٱلقارورَةِ مُزْدَوِجَةُ ٱلجُدرانِ وَٱلهواءُ مُفَرَّغٌ مِنَ ٱلفُسْحَةِ بينَ ٱلجِدارَيْنِ لِمَنْعِ ٱنْتِقالِ ٱلحَرارَةِ بِٱلتَّوصيلِ . كما إنَّ ٱلجِدارَيْنِ مُطْلِيانِ بِٱلفِضَّةِ لِمَنْعِ ٱنْتِقالِ ٱلحَرارَةِ بَيْنَهُما بِٱلإشعاعِ .

إلى ٱليمين

قَدْ لا يُصَدِّقُكَ ٱلكَثيرونَ إذا قُلْتَ لَهُمْ إنَّ بِٱسْتِطاعَتِكَ إغلاءَ ٱلماءِ في وِعاءٍ مِنَ ٱلوَرَقِ ٱلمُقَوّى ، مَعَ أنَّكَ تَستطيعُ فِعلاً تَحقيقَ ذلكَ . فَٱلماءُ يَحْمِلُ ٱلحَرارَةَ بِسُرْعَةٍ بَعيدًا عَنِ ٱلوَرَقِ ٱلمُقَوّى فَيَمْنَعُهُ مِنَ ٱلاحْتِراقِ . وإذا ما أَجْرَيْتَ هٰذِهِ ٱلتَّجْرِبَةَ ، فَتَأَكَّدْ أوّلاً من مَتانَةِ ٱلوِعاءِ ٱلوَرَقِيِّ وَصُمودِهِ لِلماءِ . وَٱحْذَرْ مِنْ إبْقاءِ ٱلنّارِ تَحتَهُ بعدَ تَبَخُّرِ ٱلماءِ لأنَّهُ حِينَئِذٍ يلتهب .

اَلتَّصَعُّدُ أوِ اَلحَمْلُ اَلحَرارِيُّ

إذا راقَبْتَ وعاءً من اَلماءِ في أثناءِ تَسخينِهِ تلاحِظُ أنَّ سَطْحَ اَلماءِ يَعلو ويَهبطُ بتموُّجاتٍ خفيفَةٍ. وتَنتُجُ هٰذِهِ اَلتَّموُّجاتُ من صُعودِ اَلماءِ اَلسّاخِنِ من أسفلِ اَلوعاءِ ليحِلَّ مكانَهُ اَلماءُ اَلباردُ اَلهابطُ منَ اَلسَّطْحِ. وتُعْرَفُ هٰذِهِ اَلعمليَّةُ بِاَلتَّصَعُّدِ أوِ اَلحَمْلِ اَلحَرارِيِّ وَتَتِمُّ بِاَنْتِقالِ اَلحَرارَةِ عَن طَريقِ حَرَكَةِ اَلمادَّةِ نَفْسِها. وَهِيَ بِذٰلِكَ تَخْتَلِفُ عَن اَلتَّوصيلِ اَلَّذي يتِمُّ فيهِ اَنْتِقالُ اَلحَرارَةِ دُونَ تَحَرُّكِ اَلمادَّةِ نَفْسِها.

يَحْدُثُ اَلتَّصَعُّدُ اَلحَرارِيُّ في اَلسَّوائلِ وَاَلغازاتِ. فَلَوْ سَخَّنْتَ قَضيبًا مَعْدِنِيًّا (لَيسَ إلى اَلحدِّ اَلَّذي يَحرِقُ أصابِعَكَ) وَأمسكْتَ بِهِ في اَلهواءِ، ثمَّ وَضَعْتَ يدَكَ فوقَهُ تَشعُرُ بِاَلهواءِ اَلسّاخِنِ يَرْتَفِعُ من اَلقَضيبِ اَلسّاخنِ. لكِنَّكَ إذا وَضَعْتَ يدَكَ تحتَ اَلقضيبِ فلنْ تشعُرَ بأيِّ سُخونَةٍ.

تَحمِلُ اَلسّوائلُ (وَاَلغازاتُ) اَلحرارَةَ لأنَّ اَلتَّمدُّدَ يُخَفِّفُ من كثافَةِ اَلسائلِ اَلسّاخِنِ فَيَرْتَفِعُ تِلقائيًّا لِيَحِلَّ مكانَهُ اَلسّائلُ اَلباردُ اَلأكثرُ كثافةً اَلهابطُ منَ اَلسَّطحِ. وَتُسَمّى حَركاتُ اَلمادَّة هٰذِهِ بِتَيّاراتِ اَلحَمْلِ اَلحَرارِيِّ. وقد تَصِلُ هٰذِهِ اَلتَّيّاراتُ إلى حَدٍّ في اَلشِّدَّةِ يُمكِنُ مُلاحَظَتُهُ في اَلتَّجربةِ اَلتّالِيَةِ: قُصَّ وَرَقَةً صَغيرَةً على شكلِ طاحُونَةٍ هَوائِيَّةٍ وَضَعْها فوقَ مِصباحٍ كهربائيٍّ ولاحِظْ كيفَ أنَّها تأخُذُ بِاَلدَّورانِ. وَهذا اَلأثرُ مماثِلٌ لِظاهرةِ اَرْتِعاشِ لَهبِ اَلشَّمعةِ فوقَ مِدفأةٍ كهربائيَّةٍ.

هٰذا اَلتَّفْسيرُ لِظاهرةِ اَلحَمْلِ اَلحَرارِيِّ يُوضِحُ اَلسَّببَ في عَدَمِ إمْكانِيَّةِ تَبريدِ كُوبٍ من اَلماءِ بِوَضْعِهِ فوقَ كُتلةٍ من اَلجليدِ. فَاَلماءُ اَلَّذي يبرُدُ في قاعِ اَلكأسِ يُصْبِحُ أكثرَ كثافةً فيَبقى في اَلقاعِ. وَهٰكذا يَبقى ماءُ اَلطَّبَقَةِ اَلسَّطحيَّةِ في مَكانِهِ بَعيدًا عَنْ تَأْثيرِ كُتْلَةِ اَلجليدِ.

في اَلعُهودِ اَلأُولى لِتَعدينِ اَلفَحْمِ كانتِ اَلمَناجِمُ تُهَوّى بِتَيّاراتِ اَلتَّصَعُّدِ اَلحَرارِيِّ. فكانَتْ تُحْفَرُ مَهْواتانِ (بِئْرا تَهْوِيَةٍ) وَتُوقَدُ اَلنّارُ مُشْتَعِلَةً في أسفَلِ إحْداهُما. فَعِنْدَما يَصْعَدُ اَلهَواءُ اَلسّاخِنُ اَلمُتَمَدِّدُ عَبْرَ مَهْواةِ

إلى اَليمين

عِندَما يُسخَّنُ سائلٌ فوقَ موقِدٍ يرتفِعُ اَلماءُ اَلساخِنُ اَلمتَمَدِّدُ نحوَ اَلسَّطحِ بينَما يَهبِطُ اَلماءُ اَلبارِدُ لِيَحِلَّ مَحلَّهُ في اَلقاعِ حيثُ يَسخُنُ ويرتفعُ من جديدٍ. وَهٰذِهِ اَلتَّحَرُّكاتُ تُوَلِّدُ تيّاراتِ اَلتَّصَعُّدِ (اَلحَمْلِ) اَلحَرارِيِّ وبِتَأْثيرِها تُلاحَظُ تَمَوُّجاتٌ خَفيفَةٌ على سَطحِ اَلسّائلِ. وتحدُثُ ظاهرةٌ مُشابِهَةٌ لدى تبريدِ كأسٍ منَ اَلماءِ بِاَلثَّلجِ، حيثُ يَبْرُدُ ماءُ اَلسَّطحِ فيهبِطُ لِيَحِلَّ مكانَهُ ماءُ اَلقاعِ.

إلى اَلأسفلِ يَمينًا

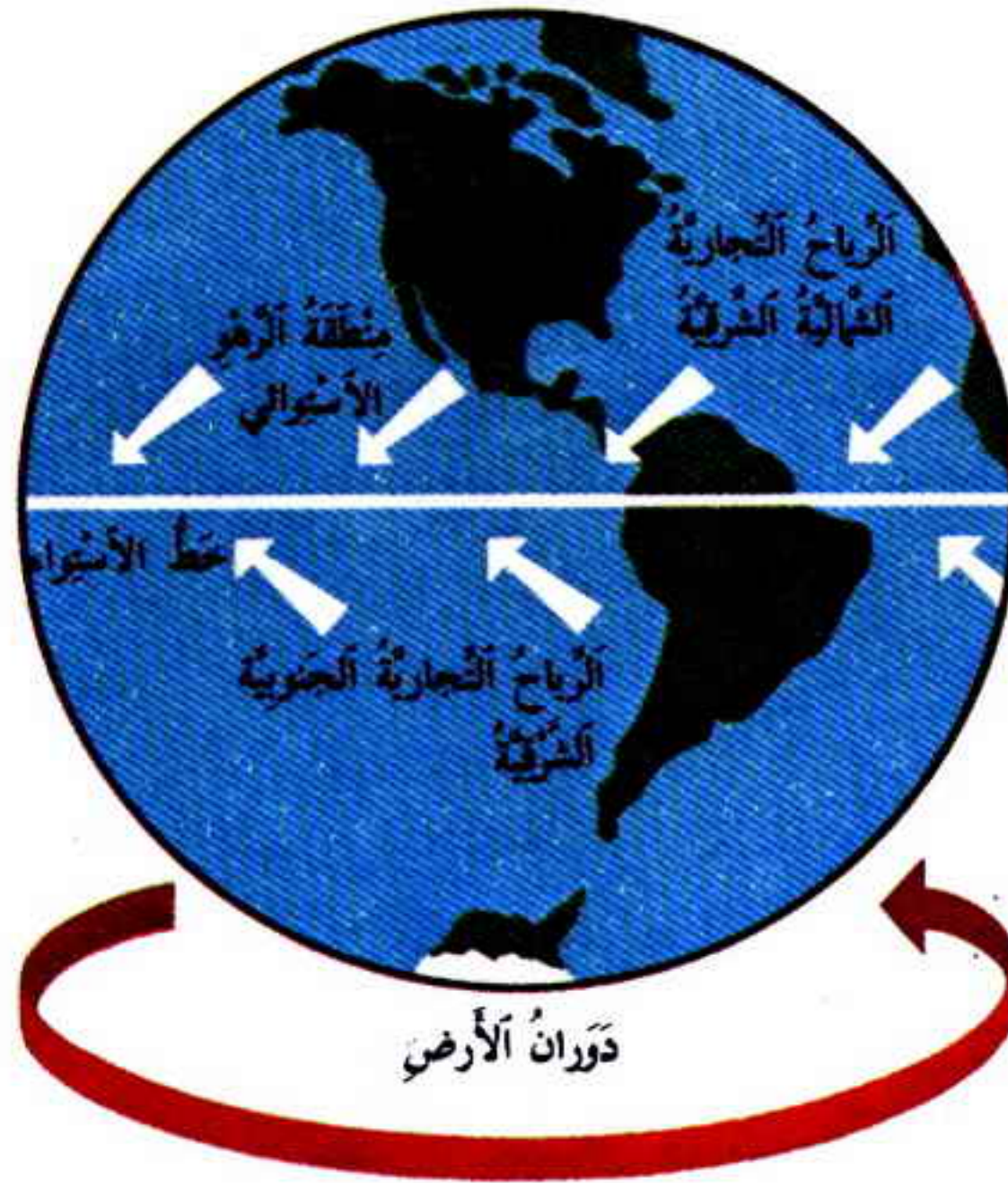
هُنالِكَ نوعانِ منَ اَلمَدافِئِ اَلكَهْرَبائيَّةِ لِلغُرَفِ. يعمَلُ اَلأوَّلُ منها بتيّاراتِ اَلحَمْلِ اَلطَّبيعيَّةِ حيثُ يَسْخُنُ اَلهواءُ اَلبارِدُ اَلدّاخِلُ من اَلأسفَلِ، فوقَ جِهازِ اَلتَّسخينِ، ثُمَّ يصعد من اَلأعلى. وتَعمَلُ اَلتَّيّاراتُ اَلطَّبيعِيَّةُ (بِفارِقِ اَلكَثافَةِ) على اَستِمْرارِيَّةِ دَورانِ اَلهَواءِ. أمّا في اَلمدافِئِ اَلمِرْوَحِيَّةِ، اَلَّتي قد تكونُ صَغيرَةَ اَلحَجْمِ، فتَسحَبُ اَلمِروَحَةُ اَلهَواءَ من جانبٍ وتَدفَعُهُ عَبرَ عُنْصُرِ اَلتَّسخينِ من جانبِها اَلآخَرِ.

إلى اَلأسفَلِ

تَهْوِيَةُ مَناجِمِ اَلفحمِ. يُسخَّنُ اَلهواءُ بنارٍ فيتمدَّدُ في قاعِ اَلمَهْواةِ ويرتفِعُ خارجَها. ويَدخلُ اَلهواءُ اَلنَّقيُّ من اَلجوِّ عَبرَ اَلمَهْواةِ اَلثّانِيَةِ ويُهوّي اَلمَنجمَ.

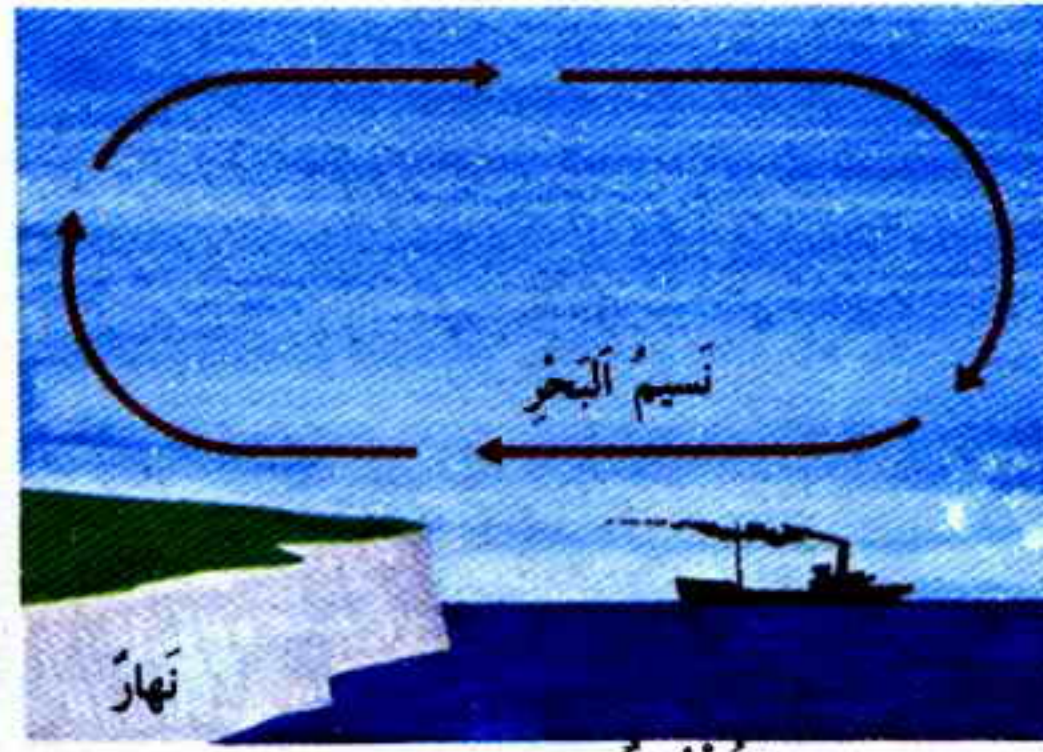
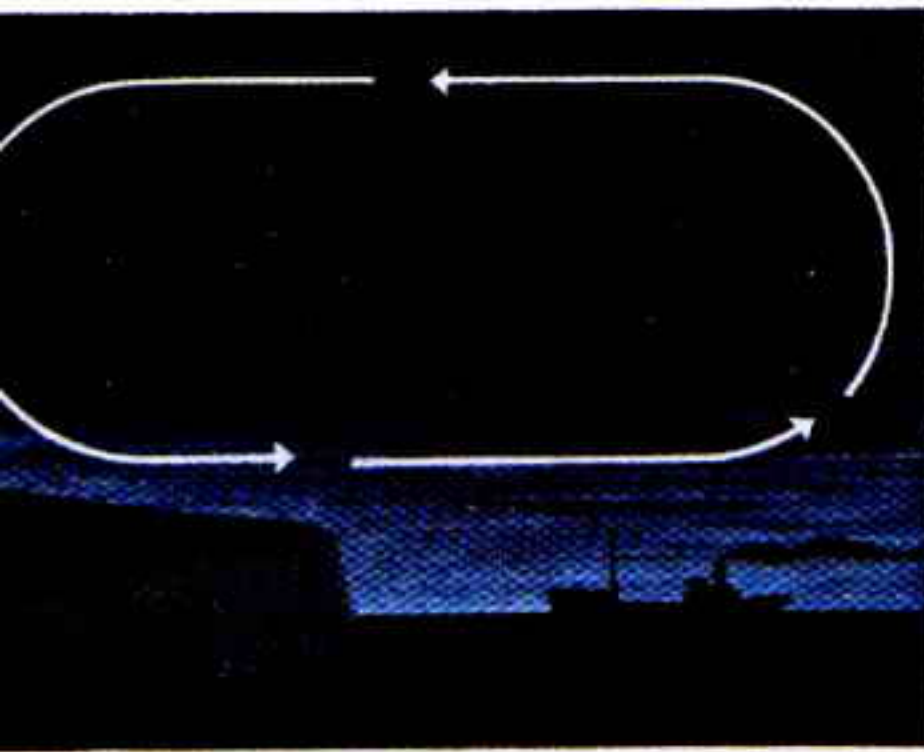
ٱلمَوقِدِ يَنْدَفِعُ ٱلهواءُ ٱلجَوِّيُّ ٱلنَّقِيُّ إلى ٱلمَنْجَمِ خِلالَ ٱلمَهْواةِ ٱلثّانِيَةِ. فَيبقى ٱلمنجمُ مُهوًّى بِٱسْتِمرارٍ.

وتَعتمدُ وَسائلُ ٱلتَّدفئةِ ٱلّتي تَعْمَلُ بِٱلحَمْلِ ٱلحَرارِيِّ على مَبْدأِ ٱرْتِفاعِ ٱلهواءِ ٱلسّاخِنِ، حَيثُ يسْخُنُ ٱلهَواءُ ٱلمُحاذي لِلأرضِ، فَيرْتَفِعُ فوقَ ٱلمِدفأةِ مُوَلِّدًا بِٱسْتِمرارٍ، تَيّارًا من ٱلهَواءِ ٱلسّاخِنِ فَوقَها وَحوالَيها. وَبِشكْلٍ مُشابِهٍ تَنْقُلُ ٱلمُسَخِّناتُ ٱلمِرْوَحِيَّةُ وَمُجَفِّفاتُ ٱلشَّعْرِ، ٱلحَرارَةَ بِٱلحَمْلِ ٱلحَرارِيِّ. وَتَعْتَمِدُ آلِيَّةُ هٰذِهِ ٱلأَجْهِزَةِ على تَسخينِ ٱلهَواءِ كَهربائِيًّا ثُمَّ دَفْعِهِ خارِجًا بواسِطَةِ ٱلمِرْوَحَةِ. فَٱلحرارَةُ في هٰذِهِ ٱلحالاتِ تَنْطوي أيضًا عَلى مَبْدأِ ٱلحَمْلِ ٱلحَرارِيِّ لأنَّ ٱلحرارَةَ تَنْتَقِلُ بِحَرَكَةِ ٱلهواءِ. وَيُسَمّى ٱلحَمْلُ ٱلحراريُّ هُنا **حَمْلاً أو تَصْعيدًا قَسْرِيًّا** لأنَّ مِرْوَحَةً تَقومُ بِدَفْعِ ٱلهَواءِ.

وَتَحْدُثُ تَيّاراتُ ٱلحَمْلِ ٱلحَرارِيِّ أيضًا في ٱلجَوِّ حيثُ تسخُنُ ٱليابِسَةُ في ٱلنَّهارِ أكثَرَ من ٱلبَحْرِ، فترتَفِعُ بِٱلتالي درجَةُ حَرارةِ ٱلهواءِ فوقَ ٱليابسةِ، وَيتصاعَدُ ليحلَّ مكانَهُ هواءُ ٱلبَحرِ ٱلأبرَدُ. وَبِذٰلِكَ يَهُبُّ على ٱليابسةِ نَسيمٌ بارِدٌ خِلالَ ٱلنَّهارِ يُعرفُ بِنَسيمِ ٱلبحرِ. أمّا في ٱللَّيلِ فإنَّ ٱليابِسَةَ تَبْرُدُ بِسرعةٍ أكبرَ منَ ٱلبحرِ فيكونُ ٱلبحرِ على ذٰلكَ أسخنَ من ٱليابسةِ، ويحدُثُ تيّارٌ في الاتّجاه ٱلمُعاكِسِ يُعْرَفُ بِنَسيمِ ٱلبَرِّ.

إلى ٱليمينِ

تنتُجُ ٱلرِّياحُ ٱلتِّجارِيَّةُ عنِ ٱنْسِيابِ ٱلهواءِ ٱلبارِدِ لِيحِلَّ محلَّ ٱلهواءِ ٱلسّاخِنِ. وهيَ تَهُبُّ مائِلَةً بِفِعْلِ حَرَكَةِ دَوَرانِ ٱلأرضِ. وَتَمْتَدُّ عَلى طولِ خَطِّ الأَسْتِواءِ مِنطَقَةٌ تُعْرَفُ بِٱسْمِ مِنطَقَةِ ٱلرَّهْوِ الأَسْتِوائيِّ. وَكانَتِ ٱلسُّفُنُ ٱلشِّراعِيَّةُ تُعاني مِنْ قِلَّةِ ٱلرِّيحِ في هٰذِهِ ٱلمِنْطَقَةِ، حَيْثُ إنَّ ٱلحركَةَ ٱلوحيدَةَ لِلهواءِ فيها هيَ ٱرْتِفاعُهُ بِٱلتَّصَعُّدِ.

إلى ٱلأسفَلِ

يتكَوَّنُ نَسيمُ ٱلبحرِ وَٱلبَرِّ بِتَيّاراتِ ٱلحَمْلِ (ٱلتَّصَعُّدِ) ٱلحَرارِيِّ. وَتكتملُ ٱلدَّورةُ بِنَسيمٍ في الاتّجاهِ ٱلمُعاكِسِ يتمُّ على ٱرْتِفاعاتٍ عالِيَةٍ.

إلى ٱليمينِ

تدورُ ٱلطّاحونَةُ ٱلهَوائِيَّةُ ٱلأُفْعُوانِيَّةُ بِتأثيرِ تَيّاراتِ ٱلحَمْلِ ٱلحَرارِيِّ ٱلصّاعِدَةِ منَ ٱلسَّخّانَةِ. وَلِصُنْعِ هٰذِهِ ٱلحَيَّةِ ٱلدَّوّارَةِ، ٱرْسُمْ حَلَزونًا عَلى قِطعةٍ دائِرِيَّةٍ منَ ٱلورقِ ٱلمُقَوّى كما هُوَ مُبَيَّنٌ أعلاه. ثُمَّ قُصَّ ٱلحَلَزونَ وَمُطَّهُ على شكْلِ لَفيفَةٍ. ثَبِّتِ ٱلذَّنَبَ في غِطاءٍ مُقَعَّرٍ أو في كُشْتُبانٍ مَثلاً. ثُمَّ ٱبْرِ قلَمًا أو أدْخِلْ في طَرَفِهِ دَبّوسًا. لِٱرْتِكازِ ٱلحَيَّةِ ٱلدَّوّارَةِ، ثَبِّتِ ٱلقَلَمَ بعد ذلكَ في ثَقْبِ بكَرَةِ خيطانٍ وَضَعِ ٱلبَكَرَةَ فوقَ مِشعاعٍ حَرارِيٍّ. لاحِظْ كَيفَ تبدأُ ٱلحَيَّةُ بِٱلدَّورانِ بِفِعْلِ تَيّارِ ٱلهَواءِ ٱلصّاعِدِ.

الرِّياحُ ٱلتِّجارِيَّةُ ٱلشَّمالِيَّةُ ٱلشَّرقِيَّةُ
مِنطَقَةُ ٱلرَّهْوِ ٱلأَسْتِوائِي
خَطُّ ٱلأَسْتِواء
الرِّياحُ ٱلتِّجارِيَّةُ ٱلجَنوبِيَّةُ ٱلشَّرقِيَّةُ
دَورانُ ٱلأَرضِ
نَسيمُ ٱلبَحْرِ
نَهارٌ
كُشْتُبانٌ
حَيَّةٌ مَقْصوصَةٌ مِنَ ٱلوَرَقِ ٱلسَّميكِ
قَلَمٌ
بَكَرَةُ خيطانٍ مُثَبَّتَةٌ فوقَ مِشعاعٍ حَرارِيٍّ
صُعودُ ٱلهَواءِ ٱلسّاخِنِ
صُعودُ ٱلهَواءِ ٱلسّاخِنِ
نارٌ

اَلإِشْعاعُ

إذا وَقَفْتَ تحتَ أَشِعَّةِ ٱلشَّمسِ في يومٍ مُشْرِقٍ تَشْعُرُ بِٱلدِّفْءِ ، لكنَّ هٰذا ٱلشُّعورَ يَتلاشى إذا ٱحتَجَبَتِ ٱلشَّمسُ بِسَحابةٍ عابرَةٍ وهٰذا يَعْني أَنَّ أَشِعَّةَ ٱلشَّمسِ تُدفِّئُكَ دُونَ أَن تُسَخِّنَ ٱلهَواءَ . أيْ إنَّ حرارَةَ ٱلشَّمسِ تَأتيكَ مُباشَرةً دونَ تَدَخُّلِ ٱلمادَّةِ ٱلفاصِلَةِ بَيْنَكُما . كَذٰلكَ فإنَّ ٱلفَضاءَ ٱلمُحيطَ بِجَوِّ ٱلأرضِ خالٍ منَ ٱلهَواءِ وَهٰذا يَعْني أنّ حَرارَةَ ٱلشَّمسِ تَصِلُنا عَبْرَ ٱلفَراغِ . وَٱنْتِقالُ ٱلحَرارَةِ هٰذا يُسَمّى **ٱلإشْعاعَ** . وَهُوَ ٱلطَّريقَةُ ٱلَّتي تَنْتَقِلُ بِها ٱلطَّاقَةُ عَبرَ ٱلفَضاءِ .

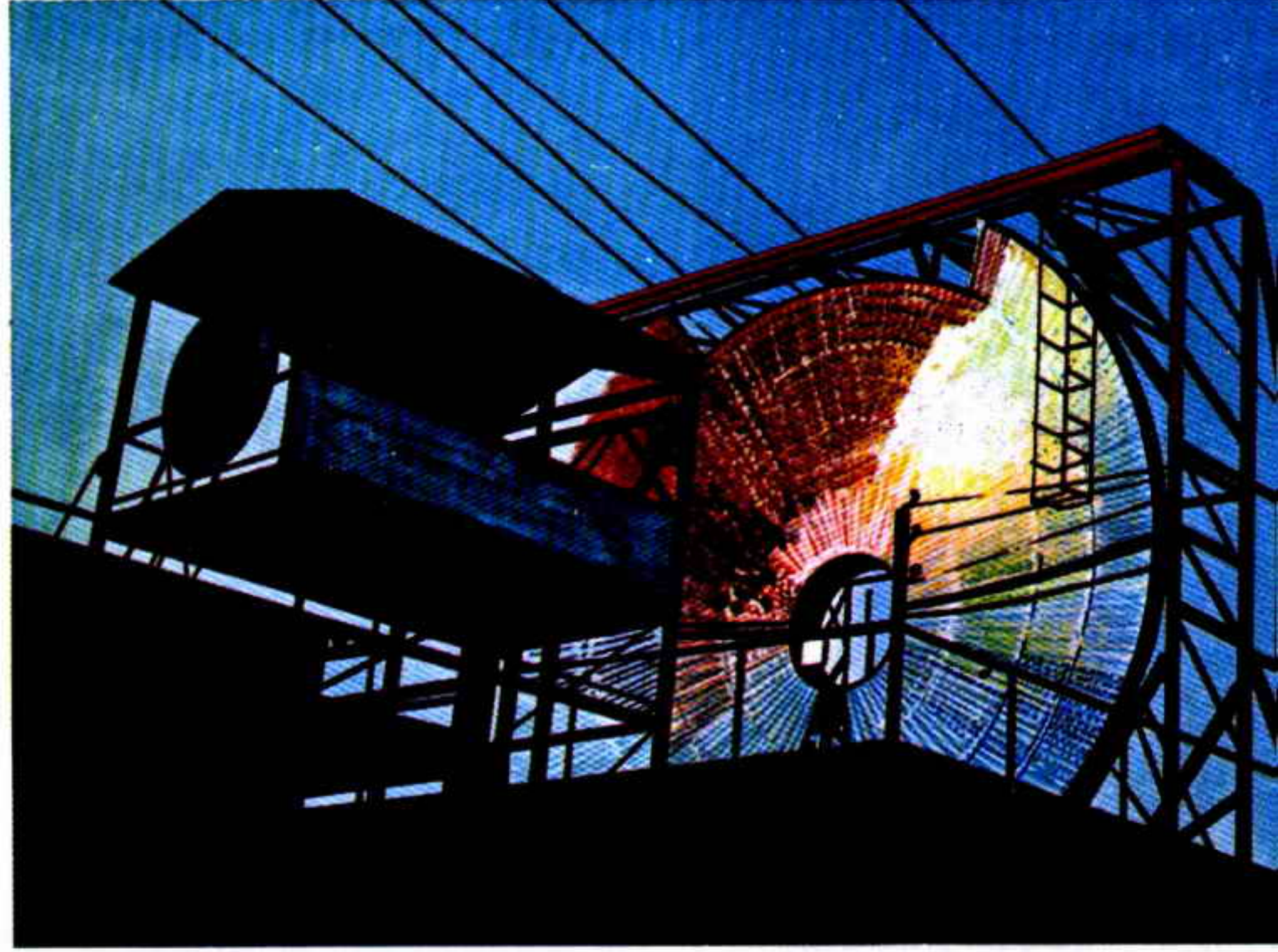
وَبِٱلإشْعاعِ أيضًا تَنْتَقِلُ ٱلحَرارَةُ من مُشِعِّ ٱلمِدْفأةِ ٱلكهربائيَّةِ ٱلمُتَوَهِّجِ إلى ما حَوْلَهُ . فإذا وَقَفْتَ قُبالَةَ مُشِعِّ تلكَ ٱلمِدْفَأةِ تَشْعُرُ بِٱلدِّفْءِ ، لكنَّكَ إذا جانَبْتَهُ يَقِلُّ هذا ٱلشُّعورُ أَوْ يَتَلاشى . أي إنَّ ٱلحرارَةَ ، هُنا أَيضًا ، تَنْتَقِلُ دونَ تَسْخينِ ٱلهواءِ . وَيَبْدو مِن جميعِ هٰذِهِ ٱلأَمْثِلَةِ أنَّ ٱلحَرارَةَ تُشَعُّ مِنَ ٱلمَصْدَرِ في خُطوطٍ مُسْتَقيمَةٍ ، تَمامًا كما يُشَعُّ ٱلنُّورُ من مِصْباحٍ كَشّافٍ . فإذا وَضَعْتَ يَدَكَ أَمامَ هٰذا ٱلمِصْباحِ ٱسْتَطَعْتَ حَجْبَ نُورِهِ . وَهٰذا ما يَحْدُثُ تَمامًا عِندَما يَعْتَرِضُ شَخْصٌ بَيْنَكَ وبَيْنَ ٱلمِدْفَأةِ ٱلكَهْرَبائيَّةِ إذْ إنَّه يَحْجُبُ حَرارَتَها ٱلمُشَعَّةَ عَنْكَ .

وَٱلحرارةُ ٱلمُشَعَّةُ وَٱلضَّوْءُ مُتَشابِهانِ إلى حَدٍّ كَبيرٍ ، فكِلاهُما تَمَوُّجاتٌ كَهْرَمغنِيطيَّةٌ .

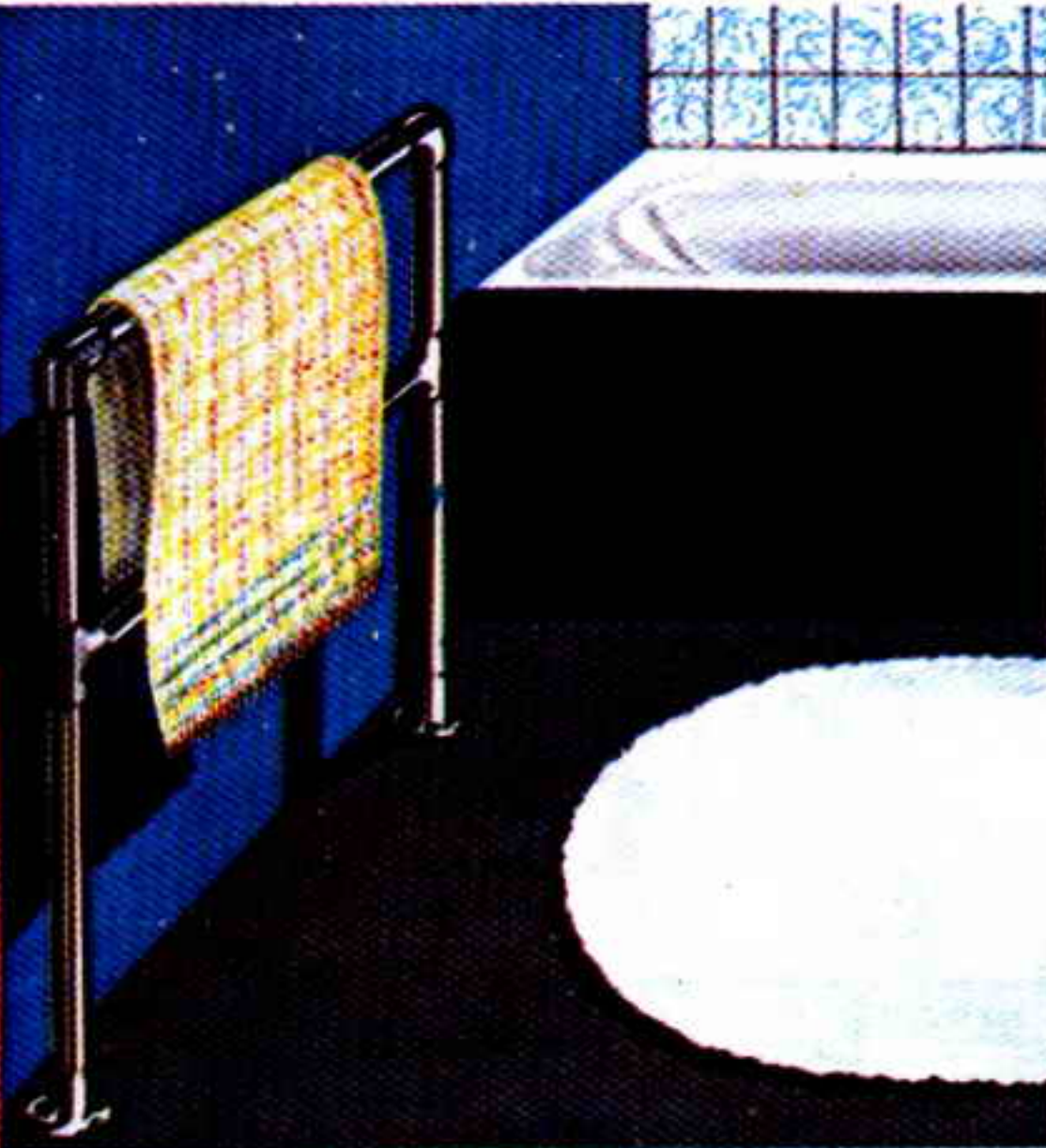
وَٱلإشْعاعُ لا يُبْتَعَثُ فَقَطْ مِنَ ٱلأَجْسامِ ٱلشَّديدَةِ ٱلسُّخُونَةِ ، كَٱلشَّمْسِ وَٱلمِدْفَأةِ ٱلكهربائيَّةِ . فَٱلإشعاعُ

إلى ٱلأَسْفَلِ

فُرْنٌ شَمْسيٌّ في جبالِ ٱلبيرينيه ٱلفرنسيَّةِ . يَبْلُغُ قُطْرُ سَطْحِهِ ٱلعاكِسِ ١٠ أَمْتارٍ ويتألَّفُ من ٣٥٠٠ مِرآةٍ صَغيرةٍ تُرَكِّزُ ٱلإشعاعاتِ ٱلشَّمسيَّةَ في بُؤْرَةِ ٱلفُرْنِ حَيْثُ تَبْلُغُ دَرَجَةُ ٱلحرارةِ أكثَرَ مِنْ ٣٠٠٠ م .

فَوْقُ إلى ٱليَسارِ

عِنْدَ تَقْريبِ هٰذِهِ ٱلعُلَبِ إلى خَدِّكَ سَتَعْرِفُ أيُّها أَكْثَرُ إشْعاعًا لِلحرارةِ . إنَّ ٱلعُلْبَةَ ٱلسَّوْداءَ هِيَ ٱلأَكْثَرُ إشْعاعًا ، تَلِيها ٱلسَّمْراءُ فَٱلبَيْضاءُ . وٱلعُلْبَةُ ذاتُ ٱلسَّطْحِ ٱلصَّقيلِ أَقَلُّها إشْعاعًا لِلحرارةِ .

إلى ٱليسارِ

يُجْعَلُ سَطْحُ مَنْشَرِ ٱلمَناشِفِ ٱلحَراريِّ في غُرْفَةِ ٱلحَمّامِ صَقيلًا لأَنَّهُ يُستَخدَمُ لِتَدْفِئَةِ ٱلمَناشِفِ لا لِتَدْفِئَةِ غُرْفَةِ ٱلحَمّامِ بِٱلإشْعاعِ . أَمّا مِشْعاعُ غُرْفَةِ ٱلجُلوسِ فَيُطْلى بِلَوْنٍ غامِقٍ لِتَمْكينِهِ مِنْ إشْعاعِ أَكْبَرِ كَمِّيَّةٍ مُمْكِنَةٍ مِنَ ٱلحَرارَةِ .

يَصْدُرُ أَيْضًا عَنِ ٱلأَجْسامِ ٱلأَبْرَدِ. وهٰذا ما يَدْفَعُنا لِتَغْطِيَةِ إبْريقِ ٱلشّاي بغِطاءٍ يَحْفَظُ ٱلحرارةَ إذا أَرَدْنا إبْقاءَ ٱلشّاي بِهِ ساخِنًا لِفَتْرَةٍ أَطْوَلَ.

والمعروفُ أَنَّ بَعْضَ ٱلسُّطُوحِ أَكْثَرُ إشْعاعًا لِلحرارةِ مِنْ بَعْضِها ٱلآخَرِ. ويُمْكِنُكَ تبيانُ ذٰلِكَ بالتَّجرِبَةِ ٱلتّالِيَةِ. خُذْ عُلْبَةً مَعْدِنِيَّةً واطْلِ نِصْفَها باللونِ ٱلأَسْوَدِ. ثُمَّ ٱملأْ ٱلعُلْبَةَ بالماءِ ٱلسّاخِنِ وقَرِّبْ أَوَّلاً خَدَّكَ (أَوْ ظَهْرَ يَدِكَ) إلى ٱلجانِبِ ٱلأَسْوَدِ ثُمَّ إلى ٱلجانِبِ ٱلصَّقيلِ، فَسَتَشْعُرُ بالدِّفْءِ ٱلأَشَدِّ مُقابِلَ ٱلجانِبِ ٱلأَسْوَدِ، وذلِكَ يَعُودُ إلى أَنَّ ٱلسَّطْحَ ٱلأَسْوَدَ مُشِعٌّ جَيِّدٌ لِلحرارةِ بَيْنَما ٱلسَّطْحُ ٱلصَّقيلُ مُشِعٌّ رَدِيءٌ لها. كَرِّرِ ٱلتَّجْرِبَةَ ٱلآنَ على عُلْبَةٍ أُخْرَى بَعْدَ دَهْنِ أَحَدِ جانِبَيْها بِاللَّوْنِ ٱلأَبْيَضِ والآخَرِ باللَوْنِ ٱلأَسْمَرِ. وستُلاحِظُ أَنَّ ٱلسُّطُوحَ ٱلغامِقَةَ ٱللوْنِ إجْمالاً أَكْثَرُ إشْعاعًا لِلحرارةِ مِنَ ٱلسُّطُوحِ ٱلفاتِحَةِ ٱللَّوْنِ.

بَعْدَ هٰذه ٱلتَّجارِبِ يُمكِنُكَ فَهْمُ ٱلسَّبَبِ في أَنَّ إبْريقَ شايٍ فِضِّيًّا صَقيلَ ٱلسَّطْحِ لا يَفْقِدُ ٱلكثيرَ مِنْ حرارَتِهِ بٱلإشْعاعِ، بِٱلمُقارَنَةِ مَعَ إبْريقِ شايٍ أَسْمَرَ أَوْ أَسْوَدِ ٱللَّوْنِ.

وكَما إنَّ بٱسْتِطاعةِ ٱلسُّطُوحِ إشْعاعَ ٱلحرارةِ، فَإِنَّ بٱسْتِطاعَتِها أَيْضًا عَكْسَها وٱمْتِصاصَها. فٱلحرارةُ، مَثَلُها مَثَلُ ٱلضَّوْءِ، عِنْدَما تَسْقُطُ على سَطْحٍ فإنَّ بَعْضَها يُمتَصُّ وبَعْضَها ٱلآخَرَ يُعْكَسُ. والسُّطُوحُ ٱلجَيِّدَةُ ٱلإشْعاعِ تكُونُ عادةً جيِّدةَ الامتِصاصِ لَهُ أَيْضًا. وكَذٰلكَ فإنَّ ٱلسُّطُوحَ ٱلسَّيِّئَةَ ٱلإشْعاعِ تَميلُ بِطَبيعَتِها إلى عَكْسِ ٱلإشْعاعِ عِوَضًا عَنِ ٱمْتِصاصِهِ. والمُلاحَظُ أَنَّ شُعُوبَ ٱلمناطِقِ ٱلحارَّةِ لا يَرْتَدونَ ٱلثِّيابَ ٱلتي تَمْتَصُّ ٱلحرارةَ. كَما أَنَّ ٱلسُّفُنَ ٱلفضائيَّةَ تُجَهَّزُ بسُطُوحٍ صَقيلَةٍ جدًّا كَيْ تَعْكِسَ ٱلإشْعاعَ ٱلحراريَّ ٱلمُنْبَعِثَ مِنَ ٱلشَّمْسِ. وٱلفَرْقُ ٱلرئيسيُّ بَيْنَ ٱلإشْعاعِ ٱلضَّوْئيِّ والإشعاعِ ٱلحراريِّ، هُوَ أَنَّكَ تَسْتَطيعُ رُؤْيَةَ ٱلأَشِعَّةِ ٱلضَّوئيَّةِ بَيْنَما لا تَسْتَطيعُ رُؤْيَةَ ٱلأَشِعَّةِ ٱلحراريَّةِ، فهذه يُمكِنُكَ ٱلإحْساسُ بِدِفْئِها فَقَطْ.

إلى ٱلأَسْفَلِ

يَرْتَدي رِجالُ إطْفاءِ ٱلحرائقِ مَلابِسَ صَقيلَةَ ٱلسَّطْحِ جِدًّا، تَنْعَكِسُ عَنْها حرارةُ ٱلنّارِ دُونَ أَنْ تُمْتَصَّ. وهكذا يَتمكَّنُ هؤُلاءِ ٱلرِّجالُ مِنَ الاقْتِرابِ مِنَ ٱلنّارِ دُونَ ٱلتَّعَرُّضِ لِٱرْتِفاعٍ خَطِرٍ في دَرَجَةِ ٱلحرارةِ.

فَوقُ

تَتَّقي شُعُوبُ ٱلمناطِقِ ٱلحارَّةِ حَرارةَ ٱلشَّمْسِ بٱرْتِداءِ مَلابِسَ فاتِحَةِ ٱلأَلْوانِ وبِٱلعَيْشِ في مَنازِلَ مَطْلِيَّةٍ بِٱللَّوْنِ ٱلأَبْيَضِ. وهٰذا يُقَلِّلُ مِنْ كَمِّيَّةِ ٱلحرارةِ ٱلممتَصَّةِ.

إلى ٱليَسارِ

يَتألَّفُ ميزانُ ٱلحرارةِ من أُنْبوبٍ زُجاجيٍّ ذي بُصَيْلَةٍ في أسفلِهِ مُعبَّأةٍ بٱلزِّئبقِ أو بٱلكُحُولِ. فعِندما يُسخَّنُ ٱلسائلُ يَتمدَّدُ، فيَكبرُ حجمُهُ ويَرتفِعُ داخلَ ٱلأُنبوبِ. ويُستعمَلُ ميزانُ ٱلحرارةِ (ٱلتِّرمومتر) لِقياسِ دَرجاتِ ٱلحرارةِ، ويكُونُ ٱلمِقياسُ مُقسَّمًا إلى دَرجاتٍ مُرقَّمةٍ. ويَدُلُّ مُستَوى ٱلسائلِ على دَرَجةِ ٱلحرارةِ ٱلمُسجَّلةِ.

إلى ٱلأسفَلِ

تُبيِّنُ هذه ٱلصُّورةُ دَرجاتِ حرارةِ طبَقاتِ ٱلماءِ في بِرْكةٍ مُغطّاةٍ بٱلجليدِ. فبما أنَّ ٱلماءَ في ٱلدَّرجةِ ٤° م يكُونُ في كَثافتِهِ ٱلقُصْوَى فإنَّهُ يَستَقِرُّ في ٱلقاعِ. وهذا ٱلماءُ مُعرَّضٌ لِفَقْدِ ٱلحرارةِ بٱلتَّوصيلِ فَقَطْ. وبما أنَّ ٱلماءَ مُوصِلٌ رَدِيءٌ للحرارةِ فإنَّهُ لَنْ يَفْقِدَ ٱلكثيرَ مِن حَرارتِهِ. وهكذا تَظَلُّ هُناكَ دائمًا طَبَقةٌ من ٱلماءِ تَحْتَ طَبَقةِ ٱلجليدِ كافيةٌ لِعَيْشِ ٱلسَّمَكِ فيها.

إلى أقْصى ٱليَسارِ

يَتمدَّدُ ٱلماءُ عِنْدَ ٱلتجمُّدِ. فإذا جَمَّدْتَ وِعاءً زُجاجيًّا مُحْكَمَ ٱلسَّدِّ مَلِيئًا بٱلماءِ، فإنَّ ٱلوِعاءَ يتحطَّمُ بضَغْطِ ٱلجليدِ ٱلمتمدِّدِ. لذلك ينبغي دائمًا حِمايةُ أنابيبِ ٱلمياهِ وٱلمُشِعّاتِ من ٱلتجمُّدِ.

ٱلتَّمَدُّدُ

إذا سُكِبَ ماءٌ ساخنٌ جدًّا في كأْسٍ زُجاجيَّةٍ سَميكةِ ٱلجُدْرانِ فإنَّها تَتَصَدَّعُ. وذلكَ لِأنَّ ٱلسَّطْحَ ٱلدّاخِلِيَّ لِلكأْسِ يَتَمَدَّدُ بسُرْعةٍ أكْبَرَ مِنْ تَمَدُّدِ ٱلسَّطْحِ ٱلخارجيِّ وٱلإجهادُ ٱلنّاتجُ يتسبَّبُ في تصدُّعِ ٱلكأْسِ.

تَتمدَّدُ جميعُ ٱلأجسامِ لَدَى تَسْخينِها لأنَّ ذَرّاتِها وجُزَيْئاتِها تَتَحَرَّكُ بسُرْعةٍ أكبَرَ. وهذا ٱلتحرُّكُ ٱلسَّريعُ لِلذَّرّاتِ وٱلجُزَيْئاتِ يَجْعَلُها تَصْطَدِمُ بجاراتِها فتتدافَعُ مُتَباعِدةً بَعْضُها عن بعضٍ. ونحن عاجِزُونَ عن رُؤْيةِ ٱلذَّراتِ وٱلجُزَيْئاتِ ٱلمُتَدافِعةِ لِأنَّها أصْغَرُ مِنْ أنْ تُرَى حتَّى بٱلمِجْهَرِ. وكُلُّ ما نستطيعُ رُؤْيَتَهُ هو نتيجةُ هذا ٱلتَّدافُعِ فَقَطْ – أيْ تزايُد حجم ٱلجسم. وتتمدَّدُ ٱلأجسامُ ٱلمختلِفةُ بِنِسَبٍ مُتفاوِتةٍ، حتَّى حِينَ تَرتفِعُ دَرجةُ حَرارتِها إلى ٱلدَّرجةِ نَفْسِها. وكَميَّةُ ٱلتَّمدُّدِ ٱلحاصِلِ في جِسْمٍ ما عِنْدَ رَفْعِ حرارتِه درجةً واحِدةً هي **مُعامِلُ ٱلتمدُّدِ** لِذلِكَ ٱلجسمِ. ويَتميَّزُ زُجاجُ ٱلبيرِكْس بِمُعامِلِ تَمَدُّدٍ ضَئيلٍ جدًّا. وهٰذا يُفَسِّرُ عَدَمَ تَصَدُّعِ ٱلأواني ٱلمصنوعةِ مِنَ ٱلبيركس بسُهولةٍ بتأْثيرِ ٱلحرارةِ.

ونُشاهِدُ في حَياتِنا ٱليومية أَمثِلَةً كثيرةً على ٱلتمدُّدِ. ففي ٱلأيامِ ٱلحارَّةِ مَثلًا، تَرْتَخي أسْلاكُ ٱلبَرْقِ وٱلهاتِفِ بِسَبَبِ ٱلتمدُّدِ، بينما تَتقلَّصُ في فَصْلِ ٱلشِّتاءِ أيْ تُصْبحُ أقْصَرَ. فإذا تَمَّ تمديدُ ٱلأسْلاكِ بَيْنَ ٱلأعْمِدةِ في طَقْسٍ حارٍّ وشُدَّتْ جَيِّدًا، فَمِنَ ٱلمحتمَلِ جدًّا أنْ تَنْقَطِعَ هٰذِهِ ٱلأسْلاكُ في أيّامِ ٱلشِّتاءِ ٱلبارِدَةِ.

وفي ٱلجُسُورِ ذاتِ ٱلعَوارِضِ ٱلفُولاذِيَّةِ ٱلطَّويلةِ تكُونُ إحْدَى نِهايَتَي ٱلجسْرِ مَحْمُولَةً على دحراجاتٍ أُسْطُوانيَّةٍ تَسْمَحُ لِلفُولاذِ بٱلتمدُّدِ. ولَوْ كانتْ نِهايتا ٱلجِسْرِ مُركَّزَتَيْنِ بشكْلٍ ثابتٍ فإنَّ ٱلجِسْرَ يَتَحَدَّبُ أوْ يَلْتَوي في ٱلطَّقْسِ ٱلحارِّ.

ويَنْطَبِقُ ٱلشيءُ نَفْسُهُ على خُطُوطِ ٱلسِّكَّةِ ٱلحديديَّةِ، فهذه أيْضًا تَتحَدَّبُ في ٱلطَّقْسِ ٱلحارِّ إذا لَمْ يَجْرِ إفساحُ ٱلمجالِ لِتَمدُّدِها مُسْبَقًا. ويَتِمُّ هذا على شَكْلَيْنِ، إمّا بٱسْتِعْمالِ عَوارِضِ وَصْلٍ، وهي ٱلطَّرِيقةُ ٱلقَدِيمةُ، أوْ بٱسْتِعْمالِ وُصْلاتٍ مُتَراكِبةٍ وهي ٱلطَّرِيقةُ ٱلأحْدَثُ.

٠م
١م
٢م
٣م
٤م

وٱلتَّمدُّدُ مُفِيدٌ في بَعضِ ٱلأَحْيانِ ، فيُمكِنُكَ مَثلاً نَزْعُ سِدادَةٍ زُجاجيَّةٍ لاصِبَةٍ في عُنُقِ قِنِّينَةٍ بٱسْتِخدامِ ظاهِرَةِ ٱلتمدُّدِ . غَلِّفْ عُنُقَ ٱلقِنِّينةِ بِقِطْعَةِ قُماشٍ مُبَلَّلَةٍ بٱلماءِ ٱلسّاخِنِ فَيتمدَّدُ عُنُقُ ٱلزُّجاجَةِ دُونَ ٱلسِّدادَةِ وهٰذا يُسَهِّلُ نَزْعَها .

وٱلسَّوائلُ أَيْضًا تَتمدَّدُ بٱلتَّسخينِ . ويُمْكِنُكَ مُلاحَظَةُ ذلك بٱلنَّفْخِ بِرِفْقٍ على مِيزانِ ٱلحرارةِ . فٱلزِّئْبَقُ يُسخَّنُ في بُصَيْلَةِ ٱلتِّرمومترِ فتتدافَعُ ذَرّاتُهُ مُتَباعِدَةً بَعْضُها عَنْ بَعْضٍ فَيتمدَّدُ ٱلسّائلُ . وهٰذا ٱلتمدُّدُ يَتَجلَّى بٱرتِفاعِ ٱلزِّئْبَقِ داخِلَ ٱلأُنبُوبِ ٱلشَّعْرِيِّ .

ويَتميَّزُ ٱلماءُ بِتمدُّدٍ غَريبٍ نَوْعًا . فإذا أَخَذْتَ قليلاً مِنَ ٱلثَّلجِ ٱلمُنْصَهِرِ وسَخَّنْتَهُ بلُطْفٍ فإنَّ حَجْمَهُ يَتقلَّصُ حتَّى دَرجةِ ٤ مِئويَّة ، ثُمَّ يَبْدأُ بٱلتمدُّدِ . وهٰذه ٱلظّاهِرَةُ تَعْني أَنَّ ٱلماءَ يَشْغَلُ ٱلحجمَ ٱلأَقلَّ وتكونُ له بٱلتالي ٱلكَثافَةُ ٱلأَعْظَمُ على دَرَجَةِ ٤ْ مِئويَّة .

وَتمدُّدُ ٱلغازاتِ أَكْبَرُ مِنْ تَمدُّدِ ٱلسَّوائلِ وٱلأَجْسامِ ٱلصُّلْبَةِ . خُذْ مَثلاً كِيسًا مِنَ ٱلبْلاستيكِ بِداخِلِهِ بَعْضُ ٱلهواءِ وشُدَّهُ بإحْكامٍ ثُمَّ غَطِّسْهُ في وِعاءٍ مِنَ ٱلماءِ ٱلسّاخِنِ ولاحِظِ ٱزْدِيادَ حَجْمِهِ بسُرْعَةٍ ، لِتمدُّدِ ٱلهواءِ في داخِلِهِ . وتَعْمَلُ مُحرِّكاتُ ٱلسَّيّاراتِ على مَبْدأ تَمدُّدِ ٱلغازاتِ . فبٱنْفِجارِ ٱلوَقُودِ بالٱحْتِراقِ ٱلدَّاخليِّ يتمدَّدُ ٱلغازُ ٱلناتجُ سَرِيعًا لِيَدْفَعَ مِكْبَسًا عَبْرَ أُسْطُوانَتِهِ . وبٱنْدِفاعِ ٱلمِكْبَسِ نَحْوَ أَسْفَلِ ٱلأُسْطُوانَةِ يُدَوِّرُ ذِراعًا مِرْفَقيَّةً تُحرِّكُ ٱلعَجلاتِ بِواسِطَةِ آليَّةٍ مِنَ ٱلتُّروسِ ٱلمُسَنَّنَةِ ٱلمُتَّصِلَةِ بها .

إلى ٱليمينِ

تِرْمُوسْتاتُ فُرْنِ ٱلغازِ . يُبَيِّنُ هذا ٱلمُخَطَّطُ مَقْطَعًا لترموستاتِ فُرْنِ ٱلغازِ وهُوَ جِهازٌ يُثَبِّتُ درجةَ ٱلحرارةِ أُوتُوماتِيًّا . عِنْدَما يَسْخُنُ ٱلفُرْنُ يتمدَّدُ ٱلقَضِيبُ ٱلنُّحاسيُّ ٱلخارجيُّ فَيَشُدُّ مَعَهُ ٱلقَضِيبَ ٱلفُولاذِيَّ ، وهذا يؤدِّي إلى تَضْييقِ فُتْحَةِ ٱلصِّمامِ وقَطْعِ سَرَيانِ ٱلغازِ . وعِنْدَما يَبْرُدُ ٱلفُرْنُ ، يَتقلَّصُ ٱلقَضِيبُ ٱلنُّحاسيُّ ويَجرُّ مَعَهُ ٱلقَضِيبَ ٱلفُولاذِيَّ فَتزدادُ فُتْحَةُ ٱلصِّمامِ ٱتِّساعًا ويَتزايَدُ بٱلتالي سَرَيانُ ٱلغازِ إلى ٱلفُرْنِ .

فَوْق

يَتمدَّدُ ٱلجِسْرُ في ٱلطَّقْسِ ٱلحارِّ ويَتقلَّصُ في ٱلطَّقْسِ ٱلبارِدِ ، وفي كِلا ٱلحالَيْنِ يدرج طَرَفُ ٱلجِسْرِ ٱلمتحرِّكُ جيئَةً وذَهابًا على كُراتٍ أَوْ دحراجاتٍ أُسْطُوانِيَّةٍ . وإذا كانَتْ نِهايتا ٱلجِسْرِ مُثَبَّتَتَيْنِ تَمامًا فإنَّ ٱلجِسْرَ يَتَحدَّبُ أَوْ يَلْتَوِي في ٱلطَّقْسِ ٱلحارِّ .

إلى ٱليمينِ

يَعْتَمِدُ مُحَرِّكُ ٱلسَّيّارةِ ٱلبِنْزِينيُّ ٱلذي يَعْمَلُ بالٱحْتِراقِ ٱلدّاخِليِّ ، على تَمَدُّدِ ٱلغازِ ، وذلِكَ عِنْدَ ٱنْفِجارِ ٱلوَقودِ . فَعِنْدَما تَنْبَعِثُ شَمْعَةُ ٱلإشْعالِ ٱلشَّرَرَ ، يَنْفَجِرُ مَزِيجُ ٱلهواءِ وٱلوَقُودِ فَيَتَمَدَّدُ ٱلغازُ ، ويُحَرِّكُ ٱلمِكْبَسَ إلى ٱلأَسْفَلِ .

دَرجاتُ ٱلحرارةِ ٱلمُنخفِضَةِ

إنَّ ٱلحُصُولَ على دَرَجاتِ حرارةٍ مُرْتَفِعَةٍ هُوَ أَمْرٌ سَهْلُ ٱلتَّحقيقِ نَوْعًا ، أَمّا ٱلحُصُولُ على دَرَجاتِ حَرارةٍ خَفيضَةٍ فَتَحْقيقُهُ أَصْعَبُ. وإحْدَى ٱلطُّرُقِ ٱلمُسْتَعْمَلَةِ لِهذه ٱلغايَةِ هي تَبخيرُ ٱلسَّوائِلِ. ويُمكِنُكَ تبيانُ ذلك بِتَبليلِ إحْدَى يَدَيْكَ بِٱلماءِ وتَحريكِها في ٱلهواءِ حَوْلَكَ ، إذْ إنَّ يَدَكَ تَبْرُدُ بشكْلٍ مَلْحُوظٍ. ويَعُودُ ذلك إلى أَنَّ تَحوُّلَ ٱلماءِ إلى بُخارٍ يَتطلَّبُ حَرارةً تُؤْخَذُ مِنْ يَدِكَ مِمّا يَجْعَلُكَ تُحِسُّ بأنَّها أَبْرَدُ ، وٱلشَّيْءُ نَفْسُهُ يَحْدُثُ عِنْدَما يَغْلي ٱلماءُ ، إذْ تُسْتَخْدَمُ ٱلحرارةُ حِينَئِذٍ لِتحويلِ ٱلماءِ إلى بُخارٍ. وكُلَّما كانَ ٱلتبخُّرُ أَسْرَعَ كانَتْ كَمِّيَّةُ ٱلحرارةِ المفقودةِ أَكْبَرَ. ومن ٱلسَّهلِ مُلاحَظَةُ ذلكَ إذا بَلَّلْتَ يَدَكَ بِٱلكُحُولِ أَوْ بماءِ ٱلكُولُونيا وَمَوَّجْتَها في ٱلهواءِ ، فكِلاهُما أَسْرَعُ تَبخُّرًا مِنَ ٱلماءِ. فظاهِرَةُ ٱلتبخُّرِ إذًا هي إحْدَى ٱلطُّرُقِ ٱلمُسْتَعْمَلَةِ لإنتاجِ دَرجاتِ ٱلحرارةِ ٱلخَفيضَةِ.

وَسائِلُ ٱلتَّشغيلِ ٱلمُسْتخدَمُ في ٱلثلاجاتِ (البرّاداتِ) هو مائِعٌ خَفيضُ دَرجةِ ٱلغَلَيانِ أَوْ غازٌ يَسْهُلُ تكثيفُهُ وتَسْييلُهُ بٱلضَّغْطِ. ويُطْلَقُ على غازِ أَوْ سائِلِ ٱلتَّبريدِ اسْمُ **ٱلمبرِّدِ**. ومِنَ ٱلمُبرِّداتِ ٱلمشهورَةِ نَذْكُرُ ٱلأمونيا وكلوريدَ ٱلإيثيلِ ، وٱلفريُونَ. يُكبس ٱلمبرِّدُ ٱلغازيُّ أَوَّلاً تَحْتَ ضَغْطٍ مُرْتَفِعٍ في أَحَدِ أَقْسامِ ٱلثلاجةِ حَيْثُ يَتحَوَّلُ إلى سائلٍ لِٱرْتِصاصِ ٱلجُزَيْئاتِ وتَقارُبِها. ثُمَّ يَمُرُّ هذا ٱلسائلُ ٱلمضغُوطُ عَبْرَ صِمامٍ إلى جُزْءٍ آخَرَ مِنَ ٱلثلاجةِ حَيْثُ ٱلضَّغْطُ مُنْخفِضٌ. وهُناكَ يَتحوَّلُ ٱلسّائلُ بٱلتبخُّرِ ٱلسَّريعِ إلى غازٍ آخذًا ٱلحرارةَ مِنْ داخلِ ٱلثلاّجةِ تَمامًا كما يَأْخُذُ ٱلماءُ ٱلمتبخِّرُ ٱلحرارةَ من يَدِكَ. ثُمَّ يُعادُ ضَغْطُ ٱلمبرِّدِ وتَسْييلُهُ مُجَدَّدًا لِيُسْتَخْدَمَ مَرَّةً أُخْرَى.

وٱلكثيرُ مِنَ ٱلثلاجاتِ ٱلمنزليَّةِ يَعْمَلُ على هٰذا ٱلمَبْدَأ ٱلذي يُشكِّلُ طَريقةً ٱقْتِصاديَّةً لحفظِ ٱلأَطْعِمَةِ ولإنْتاجِ ٱلثَّلجِ.

وهُناكَ طَريقَةٌ أُخْرَى مُخْتَلِفَةٌ قليلاً تُسْتَخْدَمُ لِلحُصُولِ على دَرجاتِ ٱلحرارةِ ٱلمُنْخفِضَةِ جدًّا. وهي تَعْتَمِدُ على حَقيقةِ أَنَّ تَمَدُّدَ ٱلغازِ ٱلسَّريعِ يُؤَدِّي إلى تَبريدِهِ. ولَعَلَّكَ لاحَظْتَ أَنَّكَ عِنْدَما تَنْفُخُ إطارَ ٱلدَّرّاجَةِ (بضَغْطِ ٱلهواءِ فيهِ) فإنَّ ٱلمِضَخَّةَ تسخن. وٱلعَكْسُ أَيْضًا صَحيحٌ. فٱنْفِلاتُ ٱلغازِ مِنْ ضَغْطٍ مُرْتَفِعٍ إلى ضَغْطٍ مُنخفِضٍ يُبَرِّدُهُ قَليلاً. وهٰذِهِ ٱلعمليَّةُ شَبيهَةٌ بما يَحْدُثُ في ٱلثلاجةِ ، إلاّ أَنَّهُ عِوَضًا عَنْ تَحَوُّلِ ٱلسائلِ إلى غازٍ ، فإنَّ ٱلغازَ هُنا يَتحوَّلُ فَجْأَةً مِنْ ضَغْطٍ مُرْتَفِعٍ إلى ضَغْطٍ مُنْخَفِضٍ.

ويُطْلَقُ على هٰذا الانْخفاضِ ٱلطَّفيفِ في دَرَجةِ ٱلحرارةِ ظاهِرة جول - كلفن نِسْبَةً إلى مُكْتَشِفَيْها: جيمس بريسكوت جول واللورد كلفن. وبتكْرارِ ٱستِخدامِ هذه ٱلظّاهِرةِ يُمكِنُ تَبْريدُ غازٍ ما إلى دَرَجةٍ مُنْخَفِضَةٍ جدًّا تَجْعَلُهُ يَتحوَّلُ إلى سائلٍ. فمَثَلًا يَتحوَّلُ ٱلأُوكسجين مِنْ غازٍ إلى سائلٍ في ٱلدَّرجةِ − ١٨٣° مِئويَّة وٱلنِّيتروجين (ٱلأزُوت) في ٱلدَّرجةِ − ٨ ، ١٩٥° مِئويَّة.

وبٱلرُّغمِ مِنْ أَنَّ دَرَجَتَي ٱلحرارةِ هاتين تُعتبَرانِ مُنْخفِضَتَيْنِ جدًّا فإنَّهُ يُمكِنُ ٱلوُصُولُ إلى دَرجاتٍ أَكْثَرَ

إلى ٱليمين

هذه طَرِيقَةٌ لِلحُصُولِ على دَرَجةِ حَرارةٍ مُنْخَفِضَةٍ. أَمْزِجْ كَمِّيَّةً مِنَ ٱلثَّلجِ المكَسَّرِ بٱلماءِ. إنَّ دَرَجةَ هذا ٱلمزيجِ هي ٱلصِّفْرُ ٱلمِئويُّ. لكِنَّكَ إذا مَزَجْتَ مَعَهُ قَليلاً مِنَ ٱلمِلْحِ وقَلَّبْتَ ٱلمزيجَ فَسَتَهْبِطُ دَرَجةُ ٱلحرارةِ إلى ما بَيْنَ − ١٠° م و − ٢٠° م. وكانَتْ هذه ٱلطَّرِيقَةُ تُسْتَعْمَلُ فيما مَضَى لِتجميدِ ٱلبُوظَةِ (ٱلجيلاتي) قَبْلَ ٱخْتِراعِ ٱلثَّلاجاتِ.

إلى ٱليسارِ

حُجَيْرَةُ ٱلتَّجميدِ في ٱلثلاجَةِ ٱلعادِيَّةِ هي ٱلجُزْءُ ٱلأَشَدُّ بُرُودَةً فيها ، حَيْثُ تَقِلُّ دَرجةُ ٱلحرارةِ عَنِ ٱلصِّفْرِ° م. ويُمكِنُ ٱستِعمالُها لِصُنْعِ ٱلثَّلجِ وحِفْظِ ٱلأَغْذِيَةِ مُجمَّدَةً. وتكُونُ دَرَجةُ ٱلحرارةِ في بَقِيَّةِ أَجْزاءِ ٱلثلاجَةِ أَعْلَى مِنَ ٱلصِّفْرِ° م بِقَليلٍ ، وهي دَرَجةٌ كافِيَةٌ لحِفْظِ ٱلأَطْعِمَةِ طازَجَةً.

يَتحوَّلُ ٱلغازُ ٱلمبَرِّدُ في داخِلِ ٱلثلاّجَةِ إلى سائلٍ بٱلضَّغْطِ وتَنْتَشِرُ ٱلحرارةُ خارِجًا خِلالَ هٰذه ٱلعمليَّةِ. ثُمَّ يَمُرُّ هذا ٱلسائلُ عَبْرَ صِمامِ ٱلتَّمدُّدِ حَيْثُ يَتحوَّلُ إلى غازٍ فَيَبْرُدُ آخِذًا ٱلحرارةَ مِنَ ٱلثلاّجَةِ ومُحْتَوَياتِها.

إلى ٱليمين

يُبَيِّنُ هذا ٱلمخطَّطُ كَيْفِيَّةَ صُنْعِ ٱلهواءِ ٱلسائلِ. يُبْدَأُ أَوَّلاً بِضَغْطِ ٱلهواءِ ثُمَّ يُسْمَحُ له بٱلتمدُّدِ عَبْرَ فُوهَةِ نَفْثٍ فَيَبْرُدُ ٱلغازُ بِبُطْءٍ. ويُسْتعمَلُ هذا ٱلهواءُ ٱلبارِدُ لِتبريدِ ٱلهواءِ ٱلمتَّجِهِ نَحْوَ ٱلفُوهَةِ. ثُمَّ يبرد هذا ٱلهواءُ أَكْثَرَ لَدَى تَمَدُّدِهِ. وهكذا تَنْخَفِضُ دَرَجةُ ٱلحرارةِ تَدْريجيًّا حتَّى يَتحَوَّلَ ٱلهواءُ إلى سائلٍ.

انخفاضًا منها. فغاز الهيدروجين يتحوّل إلى سائل في الدرجة – ١٤ ، ٢٥٩° مئويّة ويتسيّل الهليوم في الدرجة – ٩ ، ٢٦٨° مئويّة. ولكنّ المحافظة على هذه الدرجات الخفيضة تتطلّب قدرًا كبيرًا من الطاقة.

تعتمد درجة حرارة جسم ما على سرعة تحرّك ذرّاته وجزيئاته. فكلّما ازدادت سرعة التحرّك هذه ترتفع درجة حرارته، وبانخفاضها تنخفض درجة الحرارة. وهذا يعني أنّه لا بدّ من وجود درجة حرارة معيّنة دنيا لا يمكن تجاوزها. وفي تلك الدرجة المعيّنة تنعدم حركة الذرّات والجزيئات كلّيًّا. وهذه الدرجة هي درجة **الصفر المطلق** وتقابل الدرجة – ١٥ ، ٢٧٣° مئويّة. هذا وقد استطاع العلماء الحصول على درجات حراريّة خفيضة لا تزيد على الصفر المطلق بأكثر من واحد على مليون فقط من الدرجة.

إلى اليسار

إنّ درجة الصفر المطلق هي الدرجة التي تنعدم عندها حركة الذرّات. وقد اعتمدت هذه الدرجة أساسًا في الترمومتر المطلق لقياس درجات الحرارة وتعرف فيه بدرجة صفر كلفن. ودرجة تجمّد الماء في هذا الترمومتر هي ١٥ ، ٢٧٣ كلفن كما إنّ درجة غليان الماء هي ١٥ ، ٣٧٣ كلفن.

ثلاجة الانضغاط (المنزليّة)

اَلضَّغْطُ

لِكَلِمَةِ ٱلضَّغْطِ مَفْهُومٌ مُحَدَّدٌ في عِلْمِ ٱلفِيزياءِ. حَيْثُ يُعَرَّفُ ٱلضَّغْطُ بِأَنَّهُ ٱلقُوَّةُ ٱلمُؤَثِّرَةُ على مِساحَةٍ مُحَدَّدَةٍ.

فَعِنْدَما تَقِفُ على أَرْضٍ رَمْلِيَّةٍ رِخْوَةٍ تَغُوصُ قَدَماكَ فِيها كَثِيرًا، بَيْنَما لَوِ ٱضْطَجَعْتَ فَوْقَها فَإِنَّكَ لَنْ تَغُوصَ كَثِيرًا. فَبِٱلرُّغْمِ مِنْ أَنَّ ٱلقُوَّةَ ٱلمُؤَثِّرَةَ على ٱلرَّمْلِ هي نَفْسُها في كِلْتا ٱلحالَتَيْنِ، وهي وَزْنُ جِسْمِكَ، فَإِنَّها في ٱلحالَةِ ٱلأُولى تُؤَثِّرُ على مِساحَةٍ قَلِيلَةٍ بَيْنَما هي في ٱلحالَةِ ٱلثّانِيَةِ تُؤَثِّرُ على مِساحَةٍ أَكْبَرَ.

ولِلسَّبَبِ نَفْسِهِ، فَإِنَّ ٱلسِّكِّينَ ٱلحادَّةَ تَقْطَعُ بِشَكْلٍ أَفْضَلَ مِنَ ٱلسِّكِّينِ ٱلكَلِيلَةِ ٱلحَدِّ. فَمِساحَةُ ٱلحَدِّ ٱلقاطِعِ أَقَلُّ في ٱلسِّكِّينِ ٱلحادَّةِ، لِذا يَكُونُ ٱلضَّغْطُ عَلَيْهِ بِٱلتّالي أَكْثَرَ بِٱلقُوَّةِ نَفْسِها.

تَتَلَقّى جَوانِبُ ٱلجِسْمِ ٱلَّذي يُغْمَرُ في سائِلٍ ضَغْطًا سَبَبُهُ وَزْنُ ٱلسّائِلِ ٱلَّذي يَضْغَطُ على جَوانِبِ ٱلجِسْمِ. ويَتَزايَدُ هٰذا ٱلضَّغْطُ بِٱزْدِيادِ ٱلعُمْقِ، لِذا فَإِنَّ ٱلضَّغْطَ في قاعِ ٱلمُحِيطِ يَكُونُ أَشَدَّ بِكَثِيرٍ مِنَ ٱلضَّغْطِ على مَقْرُبَةٍ مِنَ ٱلسَّطْحِ. ولِذٰلِكَ يَرْتَدِي غَطّاسُو ٱلأَعْماقِ أَلْبِسَةَ غَوْصٍ خاصَّةً تَحْمِي أَجْسادَهُمْ مِنَ ٱلتَّهَشُّمِ.

كَذٰلِكَ فَإِنَّ هَواءَ ٱلجَوِّ ٱلأَرْضِيِّ يَضغطُ على سَطْحِ ٱلأَرْضِ بِما يُعادِلُ ضَغْطَ ٩ أَمْتارٍ مِنَ ٱلماءِ.

والطَّبِيعَةُ تُحاوِلُ دائمًا جَعْلَ ٱلضُّغُوطِ مُتَساوِيَةً في كُلِّ

إلى ٱليمين

تضغَطُ ٱلغازاتُ على جُدْرانِ ٱلوِعاءِ ٱلذي يَحْوِيها. وذٰلِكَ نَتيجَةَ لِتَدافُعِ جُزَيْئاتِ ٱلغازِ في حَرَكَتِها ٱلمُسْتَمِرَّةِ وٱصْطِدامِ هٰذِه ٱلجُزَيْئاتِ بِجُدْرانِ ٱلوِعاءِ وٱرْتِدادِها عَنْهُ. ويَتَزايَدُ هٰذا ٱلضَّغْطُ بِٱزْدِيادِ ٱلحَرارَةِ ٱلَّتي تَزِيدُ حَرَكَةَ ٱلجُزَيْئاتِ أَوْ بِزِيادَةِ عَدَدِ ٱلجُزَيْئاتِ نَفْسِها، فَإِذا ضاعَفْنا كَمِّيَّةَ ٱلغازِ ٱلمَوْجُودَةَ في حَجْمٍ ما (دُونَ تَغْيِيرِ دَرَجَةِ ٱلحَرارَةِ)، فَإِنَّ ضَغْطَ ٱلغازِ يَتَضاعَفُ.

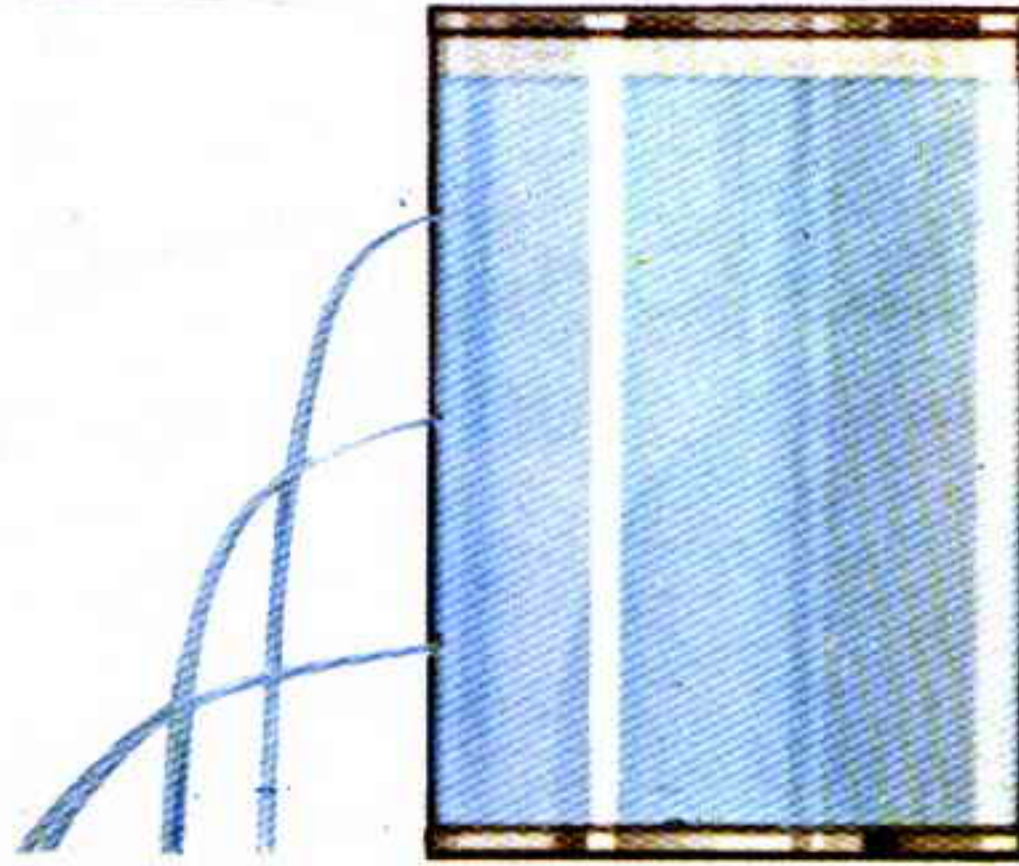
إلى أَقْصَى ٱليَمين

هٰذِهِ ٱلتَّجْرِبَةُ تُبَيِّنُ ضَغْطَ ٱلهَواءِ. اِمْلأْ قِنِّينَةً بِٱلماءِ وشُدَّ فُوَّهَتَها بِإِبْهامِكَ ثُمَّ ٱقْلِبْها في طاسِ ماءٍ بِحَيْثُ تَنْغَمِرُ ٱلفُوَّهَةُ قَليلاً فيهِ. اِرْفَعْ إِبْهامَكَ عَنِ ٱلفُوَّهَةِ. إِنَّ ٱلضَّغْطَ ٱلجَوِّيَّ على سَطْحِ ٱلماءِ في ٱلوِعاءِ يُبْقِي ٱلماءَ داخِلَ ٱلقِنِّينَةِ.

فَوق

إذا عَلَّقْتَ جِسْمَيْنِ مِنْ طَرَفَيْ خَيْطَيْنِ طَوِيلَيْنِ مُتَقارِبَيْنِ، ثُمَّ نَفَخْتَ بَيْنَهُما، فَإِنَّكَ تَتَوَقَّعُ أَنْ يَبْتَعِدَ ٱلجِسْمانِ واحِدُهُما عَنِ ٱلآخَرِ، وٱلواقِعُ أَنَّهُما يَتَقارَبانِ. وَذٰلِكَ لِأَنَّ ٱلنَّفْخَ يُخَفِّفُ ٱلضَّغْطَ ٱلجَوِّيَّ بَيْنَهُما، فَيَدْفَعُهُما ٱلضَّغْطُ ٱلجَوِّيُّ ٱلعادِيُّ حَوْلَهُما بِٱتِّجاهِ بَعْضِهِما.

إلى ٱليَمين

تُبَيِّنُ هٰذِهِ ٱلتَّجْرِبَةُ أَنَّ ضَغْطَ ٱلسّائِلِ يَتَزايَدُ بِٱزْدِيادِ ٱلعُمْقِ. أَحْدِثْ ثُقُوبًا صَغِيرَةً في جِدارِ عُلْبَةٍ مَعْدِنِيَّةٍ ثُمَّ ٱمْلَأْها بِٱلماءِ. لاحِظْ أَنَّ تَدَفُّقَ ٱلماءِ مِن ثُقْبِ ٱلقاعِ أَشَدُّ لِأَنَّهُ واقِعٌ تَحْتَ ضَغْطٍ أَكْبَرَ.

إلى ٱليَمين

غَطّاسُ «ديكارت». عَبِّئْ أُنْبُوبَةً صَغِيرَةً أَوْ قِنِّينَةً بِما يَكْفي لِجَعْلِها تَكادُ تَغُوصُ ثُمَّ ٱقْلِبْها بِحَيْثُ يَكُونُ وَجْهُها في مَرْطَبانٍ مَلِيءٍ بِٱلماءِ. ثُمَّ غَطِّ فُوَّهَةَ ٱلمَرْطَبانِ بِكَفِّكَ أَوْ بِقِطْعَةِ مَطّاطٍ وٱضْغَطْ قَليلاً نَحْوَ ٱلأَسْفَلِ. وسَتُلاحِظُ أَنَّ ٱلقِنِّينَةَ تَغُوصُ في ٱلمَرْطَبانِ لِأَنَّ مَزِيدًا مِنَ ٱلماءِ دَخَلَها. اِرْفَعْ يَدَكَ لِإِزالَةِ ٱلضَّغْطِ فَتُلاحِظُ أَنَّ ٱلقِنِّينَةَ عادَتْ تَطْفُو، وذٰلِكَ لِأَنَّ مُحْتَواها مِنَ ٱلماءِ عادَ إِلى ما كانَ عَلَيْهِ أَوَّلاً.

بارومِتْرٌ زِئْبَقِيٌّ

بارومِتْرٌ مَعْدِنِيٌّ

مَكانٍ . فَالسَّوائِلُ وَالغازاتُ تَسْرِي مِنَ الضَّغْطِ المُرْتَفِعِ إلى الضَّغْطِ المُنْخَفِضِ ، فَمِضَخَّةُ عَجَلاتِ الدَّرَّاجَةِ تُرْغِمُ الهَواءَ على دُخُولِ إطارِ العَجَلَةِ بِجَعْلِ ضَغْطِ الهواءِ داخِلَها أَكْبَرَ مِنْ ضَغْطِ الهواءِ داخِلَ الإطارِ ، فَيَسْرِي الهواءُ مِنْ جَوْفِ المِضَخَّةِ إلى داخِلِ الإطارِ .

تَعْمَلُ المِضَخَّةُ عَنْ طَرِيقِ زِيادَةِ الضَّغْطِ في داخِلِها ، لكِنَّكَ تَمْتَصُّ الشَّرابَ بِواسِطَةِ قَشَّةِ الشُّرْبِ عَنْ طَرِيقِ خَفْضِ الضَّغْطِ داخِلَ فَمِكَ . فَإِنَّكَ بِالمَصِّ مِنْ قَشَّةِ الشُّرْبِ تَسْحَبُ بَعْضَ الهواءِ مِنها فَيَقِلُّ الضَّغْطُ بِداخِلِها . ولإعادَةِ الضَّغْطِ إلى ما كانَ عَلَيْهِ يَدْفَعُ الضَّغْطُ الجَوِّيُّ السائِلَ مِنَ الكَأْسِ إلى داخِلِ فَمِكَ عَبْرَ قَشَّةِ الشُّرْبِ . وَيَسْتَمِرُّ ذلِكَ طالَما بَقِيَ الضَّغْطُ داخِلَ فَمِكَ أَخْفَضَ مِنَ الضَّغْطِ الجَوِّيِّ . وَتَعْمَلُ المِكْنَسَةُ الكَهرَبائِيَّةُ على المَبْدَأِ نَفْسِهِ . فَمِرْوَحَةُ المِكْنَسَةِ تَجْعَلُ الضَّغْطَ داخِلَها أَخْفَضَ مِنَ الضَّغْطِ الجَوِّيِّ فَيَنْدَفِعُ الهَواءُ إلى داخِلِ المِكْنَسَةِ سافِطًا مَعَهُ الأَوْساخَ عَنِ الأَرْضِ .

وَالمَعْرُوفُ أَنَّ الضَّغْطَ الجَوِّيَّ يَنْخَفِضُ عِنْدَما نَرْتَفِعُ فَوْقَ مُسْتَوَى سَطْحِ البَحْرِ ، وَيَعُودُ السَّبَبُ في ذلِكَ إلى انْخِفاضِ عَدَدِ جُزَيْئاتِ الهواءِ في المُرْتَفَعاتِ العالِيَةِ . لِذا يَتَوَجَّبُ عَلَى مَنْ يَتَسَلَّقُونَ الجِبالَ العالِيَةَ كَقِمَّةِ إفِرِسْتَ مَثَلاً ، أَنْ يَحْمِلُوا مَعَهُمْ أُسْطُواناتٍ مُعَبَّأَةً بِالأُكْسِجِين لِتَنَفُّسِهِمْ حَيْثُ إِنَّهُ لا يُوجَدُ هَواءٌ كافٍ هُناكَ . كَذلِكَ تُجَهَّزُ مَقْصُوراتُ الرُّكَّابِ في الطَّائِراتِ الَّتي تَطِيرُ إلى ارْتِفاعاتٍ عالِيَةٍ ، بِكَمِّيَّاتٍ إِضافِيَّةٍ مِنَ الهواءِ لِلتَّنَفُّسِ وَلِيَبْقَى الضَّغْطُ بِداخِلِها مُساوِيًا لِلضَّغْطِ الجَوِّيِّ على الأَرْضِ . وَيُقالُ في وَصْفِ هٰذِهِ المَقْصُوراتِ إِنَّها مُكَيَّفَةُ الضَّغْطِ .

صِمامُ المِكْبَسِ

الصِّمامُ السُّفْلِيُّ

مِضَخَّةٌ رافِعَةٌ

مِكْبَسٌ مَطَّاطِيٌّ

صِمامٌ

إلى اليَمِينِ

يَقِيسُ البارُومِتْرُ الضَّغْطَ الجَوِّيَّ كَما يُسْتَعْمَلُ أَيْضًا لِلتَّنَبُّؤِ عَنْ حالَةِ الطَّقْسِ . وَالبارُومِتْرُ الزِّئْبَقِيُّ بَسِيطُ التَّرْكِيبِ ، فَهُوَ يَقِيسُ ارْتِفاعَ عَمُودِ الزِّئْبَقِ الَّذي يُمْكِنُ لِلضَّغْطِ أَنْ يَرْفَعَهُ ، وَيَتَغَيَّرُ ارْتِفاعُ عَمُودِ الزِّئْبَقِ بِتَغَيُّرِ الضَّغْطِ . أَمّا البارُومِتْرُ المَعْدِنِيُّ (اللاسائِلِيُّ) فَهُوَ أَكْثَرُ تَعْقِيدًا . وَيَتَرَكَّبُ مِنْ عُلْبَةٍ مَعْدِنِيَّةٍ مُحْكَمَةِ الإغْلاقِ رَقِيقَةِ الجُدْرانِ وَمُفَرَّغَةٍ مِنَ الهَواءِ . وَيَفْصِلُ نابِضٌ بَيْنَ جانِبَيِ العُلْبَةِ . فَبِازْدِيادِ الضَّغْطِ الجَوِّيِّ أَوْ نَقْصِهِ يَنْضَغِطُ جانِبا العُلْبَةِ أَوْ يَتَباعَدانِ عَنْ بَعْضِهِما فَتَتَحَرَّكُ الأَذْرُعُ المُتَّصِلَةُ بِالمُؤَشِّرِ أَمامَ قُرْصِ قِياسِ الضَّغْطِ .

فَوْق

بِإِمْكانِكَ صُنْعُ مِضَخَّةٍ رافِعَةٍ كَالمُبَيَّنَةِ أَعْلاهُ مِنْ أُنْبُوبٍ عَرِيضٍ مِنْ سِدادَتَيْنِ وَأُنْبُوبَيْنِ ضَيِّقَيْنِ وَلُسَيْنَيْنِ مَطّاطِيَّيْنِ . غَطِّسِ الأُنْبُوبَ السُّفْلِيَّ في وِعاءٍ مَمْلُوءٍ ماءً ، وَشَغِّلِ المِضَخَّةَ بِتَحْرِيكِ سِدادَةِ المِكْبَسِ هُبُوطًا وَصُعُودًا عِدَّةَ مَرّاتٍ ، فَتَمْتَلِئُ المِضَخَّةُ بِالماءِ وَيَتَدَفَّقُ الماءُ خارِجًا مِنَ الأُنْبُوبِ العُلْوِيِّ بِفِعْلِ ضَغْطِ الهواءِ .

في شَوْطِ الهُبُوطِ يَنْضَغِطُ الهواءُ داخِلَ الأُنْبُوبِ ، فَيَنْغَلِقُ لُسَيْنُ الصِّمامِ السُّفْلِيِّ طارِدًا الهَواءَ عَبْرَ لُسَيْنِ الصِّمامِ العُلْوِيِّ . وفي شَوْطِ الصُّعُودِ يَنْغَلِقُ لُسَيْنُ الصِّمامِ العُلْوِيِّ فَيَتَوَلَّدُ فَراغٌ تَحْتَ المِكْبَسِ ، وَيَدْفَعُ الضَّغْطُ الجَوِّيُّ المُؤَثِّرُ على سَطْحِ الوِعاءِ الماءَ عَبْرَ الأُنْبُوبِ السُّفْلِيِّ لِمَلْءِ الفَراغِ في المِضَخَّةِ . وَحِينَ تَمْتَلِئُ المِضَخَّةُ يُدْفَعُ الماءُ عَبْرَ الأُنْبُوبِ العُلْوِيِّ في أَثْناءِ شَوْطِ الهُبُوطِ .

إلى اليَمِينِ

إذا ضَغَطْتَ كَمِّيَّةً مُعَيَّنَةً مِنْ غازٍ بِواسِطَةِ مِكْبَسِ المِضَخَّةِ تَتَقارَبُ الجُزَيْئاتُ وَتَتَراصُّ بِشِدَّةٍ وَيَزْدادُ بِالتّالي ضَغْطُها . تُسْتَخْدَمُ مِضَخَّةُ الدَّرّاجَةِ الهَوائِيَّةِ لِضَخِّ الهواءِ في إطارِ العَجَلَةِ ، حَيْثُ يَدْفَعُ المِكْبَسُ المَطّاطِيُّ الهواءَ إلى داخِلِ إطارِ العَجَلَةِ . وَصِمامُ الإطارِ يَسْمَحُ بِدُخُولِ الهواءِ إلَيْهِ وَيَمْنَعُ خُرُوجَهُ مِنْهُ .

فَوْق

اَلأَغْشِيَةُ الصّابونِيَّةُ. في التَّجْرِبَةِ الأُولى يُمَدُّ الخَيْطُ الأَحْمَرُ اللاّمَشْدُودُ عَبْرَ الحَلْقَةِ السِّلْكِيَّةِ. وعِنْدَما نُغَطِّسُ الحَلْقَةَ داخِلَ السّائِلِ الصّابونِيِّ، يَتَكَوَّنُ غِشاءٌ على سَطْحِها. اُثْقُبْ هٰذا الغِشاءَ في أَحَدِ جانِبَيْهِ ولاحِظْ كَيْفَ يَنْشَدُّ الشَّريطُ بِتَأْثيرِ التَّوَتُّرِ السَّطْحِيِّ نَحْوَ الجانِبِ الآخَرِ المُتَبَقّي مِنَ الغِشاءِ. في التَّجْرِبَةِ الثّانِيَةِ اجْعَلِ الخَيْطَ يَلْتَفُّ في عُرْوَةٍ داخِلَ الحَلْقَةِ ثُمَّ غَطِّسْها في المَحْلولِ الصّابونِيِّ لِتَكْوينِ غِشاءٍ عَلَيْها. ثُمَّ اُثْقُبِ الغِشاءَ داخِلَ العُرْوَةِ ولاحِظْ كَيْفَ تَنْشَدُّ العُرْوَةُ بِشَكْلٍ دائِرِيٍّ.

إلى أَعْلَى اليَسارِ

تَسيرُ بَقَّةُ الماءِ فَوْقَ سَطْحِ ماءِ البِرَكِ الرّاكِدَةِ، فَتُحْدِثُ أَرْجُلُها الرَّشيقَةُ هَزّاتٍ خَفيفَةً فَوْقَ سَطْحِ الماءِ دُونَ أَنْ تَثْقُبَهُ.

إلى اليَسارِ

اِرْتِفاعُ الماءِ داخِلَ قَنَواتِ الشُّرْبِ. خُذْ كَأْسًا مَليئَةً بِسائِلٍ مُلَوَّنٍ، كَعَصيرِ الرُّمّانِ مَثَلاً، وغَطِّسْ فيها قَشَّتَيْ مَصٍّ لَدائِنِيَّتَيْنِ إِحْداهُما ثَخينَةٌ والأُخْرى رَفيعَةٌ. سَتَجِدُ أَنَّ السّائِلَ يَرْتَفِعُ في القَشَّةِ الرَّفيعَةِ أَكْثَرَ مِمّا يَرْتَفِعُ في القَشَّةِ الثَّخينَةِ.

اَلتَّوَتُّرُ السَّطْحِيُّ

إذا وَضَعْتَ إِبْرَةً نَظيفَةً جافَّةً فَوْقَ قِطْعَةٍ مِنْ وَرَقِ النَّشّافِ عائِمَةٍ على سَطْحِ الماءِ في كَأْسٍ، تُلاحِظُ أَنَّ وَرَقَةَ النَّشّافِ تَغُوصُ تَدْريجِيًّا، أَمّا الإِبْرَةُ فَتَبْقَى عائِمَةً على سَطْحِ الماءِ. كَذٰلِكَ تُلاحِظُ عِنْدَ مَلْءِ الكَأْسِ بِالماءِ إلى الحَدِّ الأَقْصَى أَنَّ سَطْحَ الماءِ يَكُونُ مُنْتَفِخًا ناتِئًا فَوْقَ حافَّةِ الكَأْسِ. وتُبَيِّنُ هاتانِ التَّجْرِبَتانِ أَنَّ سَطْحَ الماءِ غِشائِيُّ الخَصائِصِ. ويَتَأَلَّفُ هٰذا السَّطْحُ شِبْهُ الغِشائِيِّ مِنْ طَبَقَةِ الجُزَيْئاتِ المُكَوِّنَةِ لِسَطْحِ الماءِ. فَهٰذِهِ الجُزَيْئاتُ السَّطْحِيَّةُ دائِمَةُ الانْجِذابِ نَحْوَ مَرْكَزِ السّائِلِ مِنْ قِبَلِ الجُزَيْئاتِ الأُخْرَى. ونَتيجَةً لِذٰلِكَ يَنْكَمِشُ سَطْحُ الماءِ ويَتَوَتَّرُ. وتُسَمَّى هٰذِهِ الظّاهِرَةُ **التَّوَتُّرَ السَّطْحِيَّ**. ولَعَلَّكَ شاهَدْتَ أَنْواعًا مِنَ الحَشَراتِ الخَفيفَةِ كَبَقِّ الماءِ (المَعْروفِ بِالقَمَصِ) تَعْدُو فَوْقَ سَطْحِ الماءِ، تَطْبيقًا لِهٰذِهِ الظّاهِرَةِ. ومِنَ المُهِمِّ التَّشْديدُ على أَنَّهُ لَيْسَ هُناكَ في الواقِعِ غِشاءٌ حَقيقِيٌّ فَوْقَ سَطْحِ الماءِ كَالَّذي يَتَشَكَّلُ على سَطْحِ الحَليبِ السّاخِنِ مَثَلاً. فَسَطْحُ الماءِ غِشائِيُّ الخَصائِصِ نَتيجَةً لِواقِعِ تِلْكَ الطَّبَقَةِ مِنْ جُزَيْئاتِ الماءِ السَّطْحِيَّةِ.

وبِإِمْكانِكَ التَّدْليلُ على ظاهِرَةِ التَّوَتُّرِ السَّطْحِيِّ في السَّوائِلِ بِإِجْراءِ التَّجارِبِ التّالِيَةِ: اِغْمِسْ حَلْقَةً مِنْ سِلْكٍ مَعْدِنِيٍّ، يَمُرُّ عَبْرَها خَيْطٌ رَخْوٌ، في ماءٍ صابونِيٍّ. اِرْفَعِ الحَلْقَةَ واثْقُبِ الغِشاءَ الصّابونِيَّ في أَحَدِ جانِبَيِ الخَيْطِ، فَتُلاحِظُ أَنَّ الخَيْطَ يَنْجَذِبُ ويَتَوَتَّرُ نَتيجَةً لِانْكِماشِ الغِشاءِ الصّابونِيِّ المُتَبَقّي إلى الحَدِّ الأَقْصَى بِتَأْثيرِ التَّوَتُّرِ السَّطْحِيِّ. أَعِدِ التَّجْرِبَةَ نَفْسَها جاعِلاً الخَيْطَ الرِّخْوَ يَلْتَفُّ بِشَكْلِ عُرْوَةٍ صَغيرَةٍ داخِلَ الحَلْقَةِ السِّلْكِيَّةِ. عِنْدَ ثَقْبِ الغِشاءِ الصّابونِيِّ داخِلَ العُرْوَةِ تُلاحِظُ أَنَّ العُرْوَةَ انْشَدَّتْ لِتَتَّخِذَ شَكْلاً دائِرِيًّا بِتَأْثيرِ التَّوَتُّرِ السَّطْحِيِّ، ذٰلِكَ أَنَّ الغِشاءَ الصّابونِيَّ المُتَبَقّي يُحاوِلُ هُنا أَنْ يَنْكَمِشَ.

يَتَمَيَّزُ الصّابونُ وغَيْرُهُ مِنَ المُنَظِّفاتِ بِأَنَّها تَخْفِضُ التَّوَتُّرَ السَّطْحِيَّ لِلماءِ وهٰذا يُكْسِبُ الماءَ قُدْرَةً أَكْبَرَ على التَّنْظيفِ بِتَماسِّهِ الأَوْثَقِ مَعَ الأَوْساخِ والشُّحُومِ على السُّطُوحِ المُرادِ غَسْلُها.

ولِتِبْيانِ تَأْثيرِ الصّابونِ في خَفْضِ التَّوَتُّرِ السَّطْحِيِّ لِلماءِ اصْنَعْ قارِبًا صَغيرًا وأَلْصِقْ في مُؤَخَّرَتِهِ قِطْعَةَ صابونٍ. ثُمَّ ضَعْ هٰذا القارِبَ في وِعاءٍ بِهِ ماءٌ نَظيفٌ، وسَتُلاحِظُ أَنَّ القارِبَ يَسيرُ في الوِعاءِ لِفَتْرَةٍ مِنَ الوَقْتِ. وذٰلِكَ لِأَنَّ الصّابونَ يَخْفِضُ التَّوَتُّرَ السَّطْحِيَّ لِلماءِ خَلْفَ القارِبِ مِمّا يُؤَدّي إلى انْجِذابِ القارِبِ نَحْوَ الأَمامِ بِتَأْثيرِ التَّوَتُّرِ السَّطْحِيِّ الأَعْلَى في المُقَدَّمَةِ. ويَتَوَقَّفُ القارِبُ عَنِ الحَرَكَةِ عِنْدَما يُصْبِحُ التَّوَتُّرُ السَّطْحِيُّ مُتَساوِيًا في ماءِ الوِعاءِ كُلِّهِ.

وتَبْدُو ظاهِرَةُ التَّوَتُّرِ السَّطْحِيِّ في فُقّاعاتِ الصّابونِ

إلى اليمين

إِصْنَعْ قارِبًا صَغيرًا مِنَ الْوَرَقِ الْمُقَوّى السَّميكِ أَوْ مِنَ الْخَشَبِ الرَّقيقِ. ثُمَّ أَلْصِقْ في مُؤَخَّرَتِهِ قِطْعَةً مِنَ الصّابونِ أَوْ مِنَ الْكافورِ. وسَتَجِدُ أَنَّ هٰذا الْقارِبَ يَتَحَرَّكُ نَحْوَ الْأَمامِ عِنْدَ وَضْعِهِ في الْماءِ. وَذٰلِكَ لِأَنَّ قِطْعَةَ الصّابونِ تُخَفِّضُ التَّوَتُّرَ السَّطْحِيَّ لِلْماءِ خَلْفَ الْقارِبِ بَيْنَما التَّوَتُّرُ أَمامَهُ لا يَتَغَيَّرُ.

أَيْضًا. فإذا نَفَخْتَ فُقّاعَةً في طَرَفِ أُنْبوبٍ فإِنَّ التَّوَتُّرَ السَّطْحِيَّ يَجْعَلُها تَتَّخِذُ السَّطْحَ الْأَقَلَّ مِساحَةً. وإذا ما تَوَقَّفْتَ عَنِ النَّفْخِ وسَمَحْتَ لِلهواءِ بالانْفِلاتِ فإِنَّ الْفُقّاعَةَ تَنْكَمِشُ.

وتَتَجَلّى ظاهِرَةُ التَّوَتُّرِ السَّطْحِيِّ في تَشَرُّبِ قِطْعَةِ السُّكَّرِ أَوْ وَرَقَةِ النَّشّافِ الْماءَ مِنْ طَبَقٍ. وتُعْرَفُ هٰذِهِ الظّاهِرَةُ **بالخاصَّةِ الشَّعْرِيَّةِ**. وتَتَأَتّى هٰذِهِ الخاصَّةُ لِأَنَّ التَّوَتُّرَ السَّطْحِيَّ يَرْفَعُ السّائِلَ خِلالَ الأَنابيبِ الدَّقيقَةِ فَقِطْعَةُ السُّكَّرِ مَسامِّيَّةٌ لامُصْمَتَةٌ وكَذٰلِكَ وَرَقَةُ النَّشّافِ مِمّا يَجْعَلُ الْماءَ يَتَصاعَدُ عَبْرَ شُقوقِها الشَّعْرِيَّةِ. والجَديرُ بالذِّكْرِ أَنَّ الخاصَّةَ الشَّعْرِيَّةَ هي الَّتي تَجْعَلُ الْماءَ يَرْتَفِعُ إلى أَعالي الأَشْجارِ والنَّباتاتِ خِلالَ الأَنابيبِ الشَّعْرِيَّةِ بِداخِلِها.

فوق

تَنْتُجُ الخاصَّةُ الشَّعْرِيَّةُ عَنِ التَّوَتُّرِ السَّطْحِيِّ. وفي هٰذا المِثالِ يَرْتَفِعُ الْماءُ مِنْ داخِلِ الْمَرْطَبانِ عَبْرَ الْخَيْطِ لِيُبَلِّلَ وَرَقَةَ النَّشّافِ في سُوقِ بادِراتِ الرَّشادِ فَيَعْمَلُ على نُمُوِّها.

إلى اليمين

العيدانُ المُتَحَرِّكَةُ بالتَّوَتُّرِ السَّطْحِيِّ. نَسِّقْ بِضْعَةً مِنْ عيدانِ الثِّقابِ بِشَكْلٍ شُعاعِيٍّ فَوْقَ طَبَقٍ مِنَ الْماءِ. اِغْمِسْ قِطْعَةً مِنَ الصّابونِ في مُنْتَصَفِ الطَّبَقِ ولاحِظْ كَيْفَ تَتَحَرَّكُ عيدانُ الثِّقابِ مُبْتَعِدَةً عَنِ المَرْكَزِ. أَعِدِ التَّجْرِبَةَ واغْمِسْ وَرَقَةَ نَشّافٍ في مُنْتَصَفِ الطَّبَقِ ولاحِظْ كَيْفَ تَتَحَرَّكُ عيدانُ الثِّقابِ نَحْوَ المَرْكَزِ في هٰذِهِ الحالَةِ. فالصّابونُ، في الحالَةِ الأُولى، خَفَّضَ التَّوَتُّرَ السَّطْحِيَّ في المَرْكَزِ بَيْنَما التَّوَتُّرُ لَمْ يَتَغَيَّرْ عِنْدَ أَطْرافِ الطَّبَقِ مِمّا يَدْفَعُ العيدانَ في ذٰلِكَ الاتِّجاهِ. وفي الحالَةِ الثّانِيَةِ تَمْتَصُّ وَرَقَةُ النَّشّافِ الْماءَ بالخاصَّةِ الشَّعْرِيَّةِ فَيَزْدادُ التَّوَتُّرُ السَّطْحِيُّ في المَرْكَزِ مِمّا يُؤَدّي إلى شَدِّ عيدانِ الثِّقابِ نَحْوَ مَرْكَزِ الطَّبَقِ.

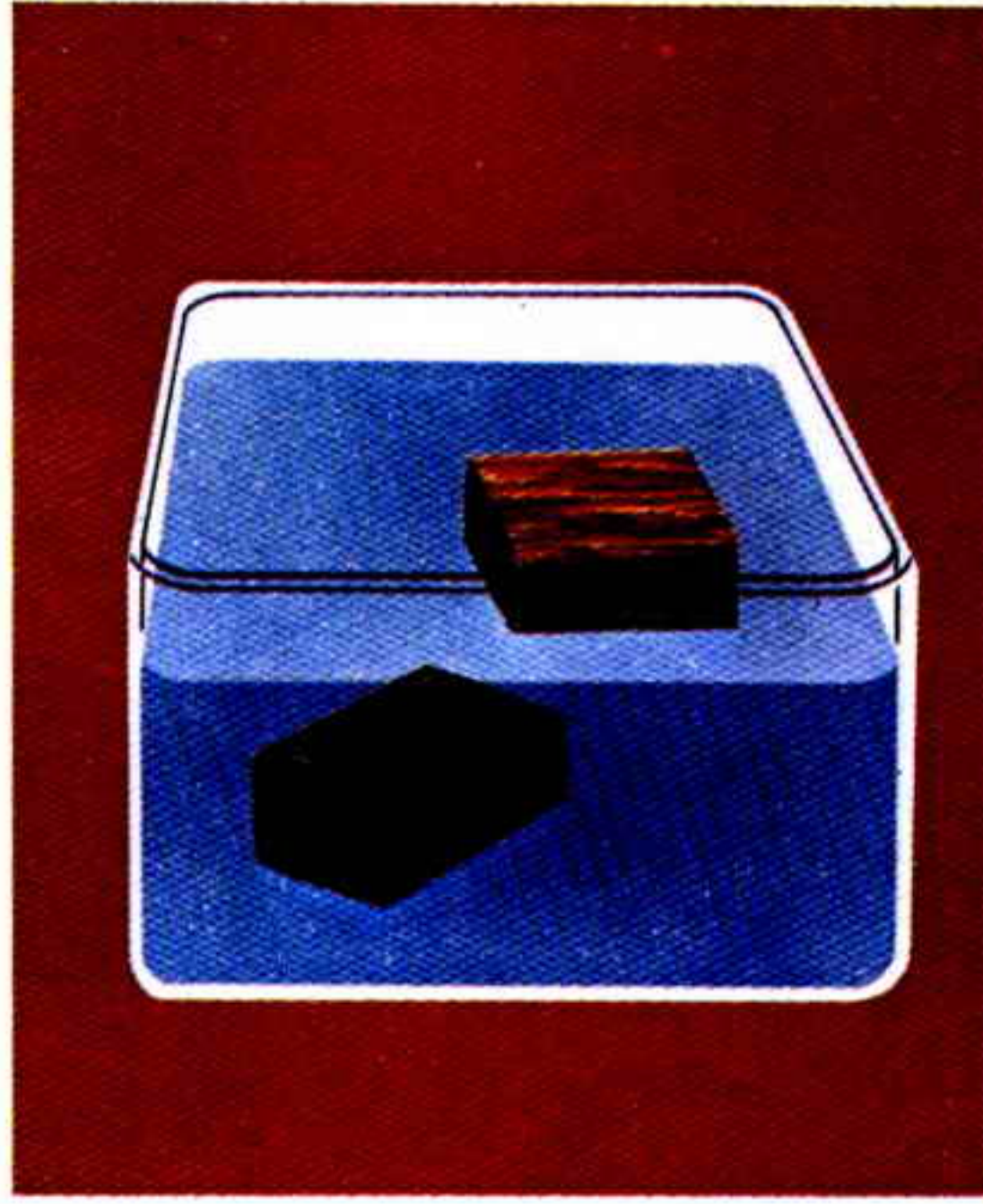
الطَّفْويَّةُ

إذا أَلْقَيْتَ فِلِّينَةً وحَصاةً في بِرْكَةِ ماءٍ ، فإنَّ الحَصاةَ تَغُوصُ بَيْنَما تَطفُو الفِلِّينَةُ . كَما إنَّ السَّوائِلَ اللاَّمُمْتَزِجَةَ يَطفُو واحِدُها على سَطْحِ الآخَرِ . فالزَّيْتُ مَثَلاً يَطفُو على سَطْحِ الماءِ وهذا يُؤَدِّي إلى تَلَوُّثِ الشَّواطِئِ والمَسابِحِ بِالزَّيْتِ المُتَسَرِّبِ مِنْ ناقِلاتِ النِّفْطِ . وهٰذِهِ الظّاهِرَةُ تَجْعَلُ مِنَ الصَّعْبِ اسْتِعْمالَ الماءِ لإطْفاءِ حَرائِقِ النِّفْطِ ، إذْ إنَّهُ يَطفُو على سَطْحِ الماءِ ويَبْقَى مُشْتَعِلاً .

وإذا ما أَنْزَلْتَ بِهُدُوءٍ كُتْلَةً مِنَ الخَشَبِ في الماءِ فإنَّكَ تُلاحِظُ أنَّها تَخِفُّ تَدْرِيجِيًّا حَتَّى تَبْدُوَ في النِّهايَةِ كَأَنْ لا وَزْنَ لَها . وهٰذا لا يَعْني أنَّها تَفْقِدُ وَزْنَها فِعْلاً بَلْ يَعْني أنَّها قَدْ أَصْبَحَتْ مَحْمُولَةً بِدَفْعِ الماءِ ، وقُوَّةُ دَفْعِ الماءِ هٰذه تُسَمَّى **الدَّفْعَ العُلْوِيَّ** . فَالماءُ يَدْفَعُ الكُتْلَةَ الخَشَبِيَّةَ إلى أَعْلَى فَتَطفُو .

يُؤَثِّرُ الدَّفْعُ العُلْوِيُّ على أَيِّ جِسْمٍ مَغْمُورٍ في سائِلٍ ، ويَطفُو الجِسْمُ إذا كانَتْ قُوَّةُ الدَّفْعِ أَكْثَرَ مِنْ وَزْنِهِ . فإذا ما أَنْزَلْتَ قِرْمِيدَةً في الماءِ فإنَّكَ تُحِسُّ بِأَنَّ وَزْنَها يَخِفُّ ، ولٰكِنْ لَيْسَ إلى الحَدِّ الذي يَجْعَلُها تَطفُو .

وكان العالِمُ اليُونانيُّ القَدِيمُ ، أَرْخَمِيدِسُ ، أَوَّلَ مَنْ دَرَسَ الدَّفْعَ العُلْوِيَّ في السَّوائِلِ وقالَ بِأَنَّ الدَّفْعَ العُلْوِيَّ يُساوِي وَزْنَ السّائِلِ المُزاحِ ، وهذا ما يُعْرَفُ الآنَ **بِقانُونِ أَرْخَمِيدِسَ** . ويَعْني هٰذا القانُونُ أَنَّهُ إذا أَزاحَ جِسْمٌ مَغْمُورٌ كِيلُوغْرامًا واحِدًا مِنَ الماءِ فإنَّ قُوَّةَ الدَّفْعِ العُلْوِيِّ على ذٰلِكَ الجِسْمِ تُساوِي كِيلُوغْرامًا واحِدًا . تَخَيَّلْ جِسْمَيْنِ لَهُما نَفْسُ الحَجْمِ والشَّكْلِ ، ولٰكِنَّهُما مَصْنُوعانِ مِنْ مادَّتَيْنِ مُخْتَلِفَتَيْنِ : كَطُوبَةٍ وكُتْلَةٍ مِنَ الخَشَبِ مَثَلاً . إنَّ هٰذَيْنِ الجِسْمَيْنِ يُزِيحانِ نَفْسَ الكَمِّيَّةِ مِنَ الماءِ عِنْدَ غَمْرِهِما فِيهِ ، أَيْ إنَّ الدَّفْعَ العُلْوِيَّ مُتَساوٍ على كِلَيْهِما . إلاّ أَنَّهُ في كُتْلَةِ الخَشَبِ ، تَكُونُ قُوَّةُ الدَّفْعِ العُلْوِيِّ أَكْبَرَ مِنْ وَزْنِ القِطْعَةِ لِذٰلِكَ فإنَّها تَطفُو على سَطْحِ الماءِ . أَمّا في حالَةِ الطُّوبَةِ فإنَّ قُوَّةَ الدَّفْعِ العُلْوِيِّ تَكُونُ أَقَلَّ مِنْ وَزْنِ الطُّوبَةِ فَتَغُوصُ .

والخاصَّةُ الَّتي تُحَدِّدُ طَفْوِيَّةَ الجِسْمِ هِيَ **كَثافَةُ** هٰذا الجِسْمِ . وهي تُساوي وَزْنَ الجِسْمِ ، مَقْسُومًا على حَجْمِهِ . فإذا كانَ وَزْنُ الجِسْمِ أَكْبَرَ مِنْ وَزْنِ حَجْمِهِ مِنَ الماءِ فإنَّهُ يَغْرَقُ . أَمّا إذا كانَ وَزْنُهُ أَقَلَّ مِنْ وَزْنِ حَجْمٍ مُساوٍ لَهُ مِنَ الماءِ فإنَّهُ يَطفُو . فالطُّوبَةُ تَغُوصُ لِأَنَّ كَثافَتَها أَكْبَرُ مِنْ كَثافَةِ الماءِ ، أَيْ إنَّ وَزْنَها يَفُوقُ وَزْنَ حَجْمِها مِنَ الماءِ . أَمّا قِطْعَةُ الخَشَبِ المَغْمُورَةُ فَتُزِيحُ حَجْمًا مِنَ الماءِ أَثْقَلَ مِنْ وَزْنِ الخَشَبَةِ ، أَيْ إنَّ كَثافَةَ الخَشَبِ أَقَلُّ مِنْ كَثافَةِ الماءِ . والزَّيْتُ يَطفُو لِأَنَّ كَثافَتَهُ أَقَلُّ مِنْ كَثافَةِ الماءِ ، أَمّا الزِّئْبَقُ

إلى اليَسارِ

تَغُوصُ الطُّوبَةُ (الآجُرَّةُ) لِأَنَّ كَثافَتَها أَكْبَرُ مِنْ كَثافَةِ الماءِ ، أَيْ إنَّ قُوَّةَ الدَّفْعِ العُلْوِيِّ عَلَيْها أَقَلُّ مِنْ وَزْنِها . لٰكِنَّكَ إذا غَطَّسْتَ الخَشَبَةَ في الماءِ تَشْعُرُ بِقُوَّةِ الدَّفْعِ العُلْوِيِّ تَدْفَعُها إلى أَعْلَى ضِدَّ قُوَّةِ يَدَيْكَ . وحِينَ تُسَيِّبُها تَطفُو على سَطْحِ الماءِ إلى مُسْتَوًى مُعَيَّنٍ تَكُونُ قُوَّةُ الدَّفْعِ فِيهِ مُساوِيَةً لِوَزْنِ الخَشَبَةِ .

أَرْخَمِيدِسُ

فَوْق

عاشَ أَرْخَمِيدِسُ ، العالِمُ والرِّياضِيُّ اليُونانِيُّ الشَّهِيرُ في القَرْنِ الثّالِثِ ق . م . لَهُ عِدَّةُ اخْتِراعاتٍ مَشْهُورَةٍ ، كَما أَجْرَى كَثِيرًا مِنَ التَّجارِبِ على الرّافِعَةِ ، ويُقالُ بِأَنَّ فِكْرَةَ إيجادِ حَجْمِ جِسْمٍ ما بِوَضْعِهِ في الماءِ خَطَرَتْ لَهُ وهُوَ يَسْتَحِمُّ في مِغْطَسٍ مَلِيءٍ بِالماءِ تَمامًا . إذِ ارْتَأَى أَنَّ حَجْمَ جِسْمِهِ المَغْمُورِ يُساوِي حَجْمَ الماءِ المُنْسَكِبِ مِنَ المِغْطَسِ . وكانَ مِنْ فَرْحَتِهِ وتَحَمُّسِهِ أَنَّهُ رَكَضَ مِنَ الحَمّامِ إلى بَيْتِهِ عارِيًا وهُوَ يَصْرُخُ : يُورِكا (أَيْ : وَجَدْتُها) .

إلى اليَسارِ

صِدارُ النَّجاةِ والقَوارِبُ المَطّاطِيَّةُ تُبْقِي النّاسَ طافِينَ لِأَنَّها تَتَأَلَّفُ مِنْ جُيُوبٍ هَوائِيَّةٍ . فَالهَواءُ المَحْصُورُ في صِدارِ النَّجاةِ يَجْعَلُ الكَثافَةَ الكُلِّيَّةَ لِلشَّخْصِ ولِصِدارِ النَّجاةِ أَقَلَّ مِنْ كَثافَةِ الماءِ ، فَيَطفُو الشَّخْصُ على الماءِ . أَمّا دُونَ صِدارِ نَجاةٍ فإنَّ جِسْمَ الإنْسانِ المَغْمُورَ في الماءِ يَطفُو دُونَ أَنْ يَغُوصَ . ولٰكِنْ إذا تَشَبَّعَتْ ثِيابُهُ بِالماءِ أَوِ امْتَلأَتْ بِهِ رِئَتاهُ فإنَّ كَثافَتَهُ تَزْدادُ فَيَتَعَرَّضُ لِلْغَرَقِ .

عَمَلِيَّةُ صَبِّ ٱلزُّجاجِ طافِيًا

فَيَغوصُ لِأَنَّ كَثافَتَهُ أَكْثَرُ مِنْ كَثافَةِ ٱلماءِ بِحَوالَى أَرْبَعَةَ عَشَرَ ضِعْفًا.

وَٱلسَّفينَةُ ٱلحَديثَةُ تَطْفو لِأَنَّها بِحَجْمِها ٱلضَّخْمِ تَحْتَوي على حَجْمٍ مِنَ ٱلهَواءِ في هَيْكَلِها، مِمّا يَجْعَلُ ٱلكَثافَةَ ٱلكُلِّيَّةَ لِلسَّفينَةِ أَقَلَّ مِن كَثافَةِ ٱلماءِ. لكِنَّها إذا ثُقِبَتْ بِٱرْتِطامٍ صَخْرِيٍّ أَوْ بِطُورْبيدٍ فإِنَّ ٱلماءَ ٱلمُتَدَفِّقَ إلى جِسْمِها يَزيدُ مِنْ كَثافَتِها فَتَغْرَقُ.

هذا وتَسْتَطيعُ بَعْضُ ٱلأَجْسامِ ٱلخَفيفَةِ كالمَناطيدِ وَٱلسُّفُنِ ٱلهوائيَّةِ ٱلطَّفْوَ في ٱلهواءِ أَيْضًا. وتكونُ هٰذِهِ ٱلأَجْسامُ مُعَبَّأَةً بِغازِ ٱلهِلْيومِ ٱلقَليلِ ٱلكَثافَةِ بِحَيْثُ إنَّ ٱلكَثافَةَ ٱلكُلِّيَّةَ لِلْجِسْمِ أَقَلُّ مِنْ كَثافَةِ ٱلهواءِ.

إلى ٱليمين

عَمَلِيَّةُ صَبِّ ٱلزُّجاجِ طافِيًا، هي طَريقَةٌ حَديثَةٌ لِصُنْعِ صَفائِحَ زُجاجِيَّةٍ مُسْتَوِيَةٍ تَمامًا، وذٰلِكَ بِتَطْفِيَةِ ٱلزُّجاجِ ٱلمُنْصَهِرِ في حَوْضٍ مِنْ مَعْدِنٍ مُنْصَهِرٍ هُوَ ٱلقَصْديرُ في هٰذِهِ ٱلحالِ. ويُوَفِّرُ ٱلسّائِلُ لِلزُّجاجِ سَطْحًا مُسْتَوِيًا تَمامًا لِيَبْرُدَ فَوْقَهُ.

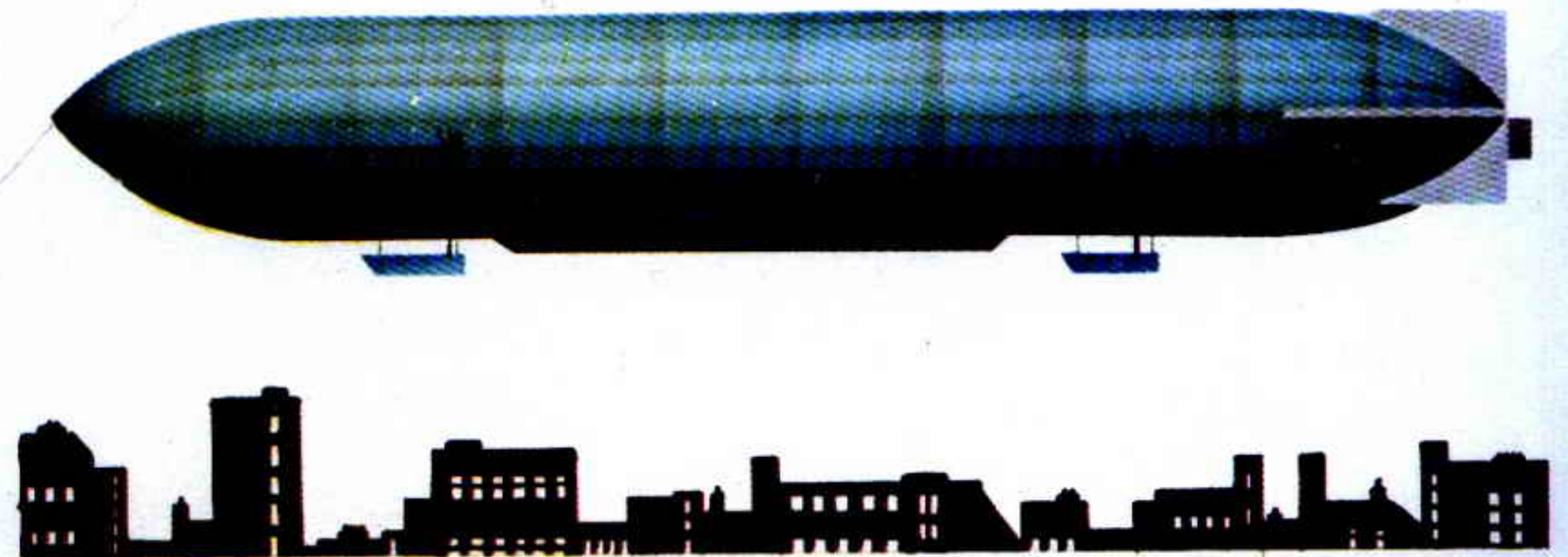
إلى أسفل

قانونُ ٱلطَّفْوِ. تُبَيِّنُ ٱلتَّجْرِبَةُ ٱلتّالِيَةُ أَنَّ ٱلجِسْمَ ٱلطّافِيَ يُزيحُ وَزْنًا مِنَ ٱلماءِ مُساوِيًا لِوَزْنِهِ. ولِٱخْتِبارِ ذٰلِكَ سَجِّلْ مُسْتَوى ٱلماءِ في مِخْبارٍ مُدَرَّجٍ ثُمَّ ضَعْ فيهِ أُنْبوبَ ٱخْتِبارٍ مُثْقَلاً وسَجِّلْ مُسْتَوى ٱلماءِ ٱلجديدِ في ٱلمِخْبارِ فَيَكونُ حَجْمُ ٱلماءِ ٱلمُزاحِ هُوَ ٱلفَرْقُ بَيْنَ مُسْتَوَيَيِ ٱلماءِ (بِٱلسم³). وهُوَ عَدَدِيًّا يُساوي وَزْنَ ٱلماءِ ٱلمُزاحِ بِٱلغَراماتِ حَيْثُ إنَّ وَزْنَ ٱلسم³ مِنَ ٱلماءِ يُساوي غرامًا واحِدًا. أَخْرِجْ أُنْبوبَ الأَخْتِبارِ ٱلمُثْقَلَ مِنَ ٱلمِخْبارِ وجَفِّفْهُ ثُمَّ زِنْهُ. وسَتَجِدُ أَنَّ وَزْنَهُ مُساوٍ لِوَزْنِ ٱلماءِ ٱلمُزاحِ. كَرِّرْ هٰذِهِ ٱلتَّجْرِبَةَ مُسْتَعْمِلاً أَوْزانًا مُخْتَلِفَةً لِتَثْقيلِ ٱلأُنْبوبِ.

إلى ٱليمين

عِنْدَما تَسيرُ ٱلغَوّاصَةُ فَوْقَ سَطْحِ ٱلماءِ، تكونُ ٱلخَزّاناتُ ٱلمُحيطَةُ بِهَيْكَلِها مُمْتَلِئَةً بِٱلهَواءِ وهٰذا يُمَكِّنُها مِنَ ٱلطَّفْوِ. وعِنْدَ ٱلغَوْصِ يُضَخُّ ٱلماءُ إلى خَزّاناتِها فَتَزيدُ ٱلكَثافَةُ ٱلإجْمالِيَّةُ لِجِسْمِها، حَتّى تَصِلَ ٱلغَوّاصَةُ إلى حالَةٍ مِنَ ٱلطَّفْوِيَّةِ ٱلمُتَعادِلَةِ في ٱلعُمْقِ ٱلمُحدَّدِ. ويُمْكِنُها حينَئِذٍ ٱلإبْحارُ في ذٰلِكَ ٱلعُمْقِ.

إلى ٱليمين

تُمْلأُ ٱلمَناطيدُ ٱلهوائيَّةُ بِغازِ ٱلهِلْيومِ ٱلأَقَلِّ كَثافَةً مِنَ ٱلهواءِ. فَتَكونُ قُوَّةُ ٱلدَّفْعِ ٱلعُلْوِيِّ لِلهواءِ على ٱلمُنْطادِ أَكْبَرَ مِنْ وَزْنِهِ. ويَرْتَفِعُ ٱلمُنْطادُ إلى ٱلمُسْتَوى ٱلذي تَتَساوى فيهِ قُوَّةُ دَفْعِ ٱلهواءِ مَعَ وَزْنِ ٱلمُنْطادِ.

تطور الأنواع المختلفة للمحركات وأشكال النقل الناتجة عنها

نوع المحرك أو القدرة المحركة	السفن	الطرق البرية	السكك الحديدية	النقل الجوي
الأشكال البدائية للقدرة الطبيعية والحيوانية	السفن الشراعية صنادل القنوات تجرها الخيول	مركبات تجرها الخيول	شاحنات تجرها الخيول	مناطيد الهواء الساخن
الآلة البخارية الفعالة الأولى (واط) ١٧٦٥ بعد نيوكومن ١٧١٢	أول محرك مجداف ناجح للسفن البخارية ١٧٨٣ . أول سفينة بخارية برفاص بروحي ١٨٣٠	أول سيارة تعمل بمحرك بخاري (كونيو) ١٧٧٠ . وفي سيارات أخرى ١٨٢٠	أول قطار بخاري عملي ١٨١٢ (ستيفنسون ١٨١٤) . أول سكة حديد (إنكلترا) افتتحت ١٨٢٥	
أول محرك بنزيني رباعي الأشواط ١٨٧٦ (أوتو) بعد محرك لونوار للاحتراق الداخلي ١٨٦٠	قوارب بمحركات	أول سيارة ١٨٦٠ (لونوار). أول سيارة تعمل بالبنزين ١٨٨٥ (ديملر – بنز)		أول طائرة ذات محرك ١٩٠٣ (الأخوان رايت). أول هليكوبتر ١٩٠٧
أول محرك ديزل ١٨٩٢	أول غواصة عملية ، واستعمال المحرك في قوارب أخرى	الباصات ، الشاحنات سيارات الأجرة	قطارات الديزل وقطارات الديزل الكهربائية	
القدرة الكهربائية		أول سيارة كهربائية ١٨٩١ أهملت إلا في بعض سيارات التوزيع ، ويعاد النظر فيها حالياً (خلية وقودية)	أول القطارات الكهربائية ١٨٧٩ ، كهربة خطوط السكك الحديدية (إنكلترا منذ ١٩٥٠)	
المحركات النفاثة ١٩٣٧ (ويتل)	استعملت على قارب (كامبل ١٩٦٧) لتحطيم الرقم القياسي للسرعة على الماء	استعملت على سيارة (بريدلوف ١٩٦٥) لتحطيم الرقم القياسي للسرعة على الأرض	وسيلة النقل المستقبلية على خطوط السكك الحديدية	أول طيران ١٩٣٧ ، أول طيران أسرع من الصوت ١٩٤٧
الطاقة النووية السيطرة على الانشطار النووي ١٩٤٢	أول غواصة نووية ١٩٥٢ (نوتيلوس) ، حاملات الطائرات ، ناقلات النفط وكاسحات الجليد			عربات الفضاء المستقبلية

الوحدات وتحويلاتها

الزمن

سنة واحدة = $\frac{1}{4}$ ٣٦٥ يوماً . اليوم الواحد = ٢٤ ساعة

ساعة واحدة = ٦٠ دقيقة = ٣٦٠٠ ثانية

الكتلة

كيلوغرام واحد (كغ) = ١٠٠٠ غرام = ٢،٢٠٤ باوند (رطل إنكليزي)

باوند واحد = ١٦ أونصة = ٠،٤٥٤ كغ

أونصة واحدة = ٢٨،٣٠ غرام

طن واحد = ٢٢٤٠ باونداً = ١٠١٦ كغ

المسافة

كيلومتر واحد (كم) = ١٠٠٠ متر = $\frac{5}{8}$ الميل

ميل واحد = ١٧٦٠ ياردة = $\frac{8}{5}$ الكيلومتر

متر واحد = ١٠٠ سنتيمتر (سم) = ١٠٠٠ مليمتر (ملم) = ٣٩،٤ إنش (بوصة)

إنش واحد = ٢،٥٤ سم ١ سم = $\frac{2}{5}$ الإنش

سنة ضوئية واحدة = ٩،٥ مليون مليون كم = ٥،٩ مليون مليون ميل

المادة	الوزن بالمقارنة مع وزن نفس الحجم من الماء	المادة	الوزن بالمقارنة مع وزن نفس الحجم من الماء
كثافة بعض المواد الشائعة			
الخيزران	٠،٢٤	الذهب (٢٢ قيراطاً)	١٧،٥
النحاس الأصفر	٨،٥	(٩ قراريط)	١١،٣
الزبد	٠،٩	الجليد	٠،٩٢
حديد الصب	٧،٠	السنديان (البلوط)	٠،٧
الفلين	٠،٢٥	البوليثين	٠،٩
الماس	٣،٥	الفولاذ الذي لا يصدأ	٧،٨
الزجاج	حوالي ٢،٥	الحديد المطاوع	٧،٨

الضَّوْءُ وَالبَصَرُ وَالصَّوت

المُحْتَويَات	الصَّفحَة

الشَّمسُ

ٱلنُّورُ وٱلظَّلامُ

ٱلنُّور (أو الضَّوءُ) شكلٌ من أَشْكَالِ ٱلطَّاقَةِ يُمكِّننا من رُؤيةِ الأجسامِ لأنَّ العَيْنَ حَسَّاسَةٌ لَهُ. فٱلشَّمْسُ وٱلنُّجومُ وٱلمَصابيحُ وٱلنَّارُ وغيرُها تَبْتَعِثُ ٱلضَّوء لشِدَّةِ حَرارَتِها. وٱلأشياءُ كُلُّها مُؤلَّفَةٌ من ذَرَّاتٍ، فإذا ما سُخِّنَ جِسْمٌ بِشِدَّةٍ فإنَّ ذَرَّاتِهِ تَبْتعِثُ ضَوءًا.

وٱلضَّوءُ ٱلمُبْتَعَثُ مِن مَصْدَرٍ ضَوئيٍّ يَبْلُغُ مَسافاتٍ مُتبايِنَةً تَعْتَمِدُ على شِدَّةِ سُطوعِهِ. فَلَهَبُ عُودِ ٱلثِّقابِ لا يُرى إلَّا عَنْ بُعْدٍ قَليلٍ بَيْنَمَا يأتينا نُورُ ٱلشَّمسِ عَبْرَ مَسافةٍ مِقْدارُها ١٥٠ مليون كيلومترٍ.

وٱلظَّلامُ هُوَ ٱنعِدامُ ٱلضَّوءِ. ففي حُجرَةٍ عَديمةِ ٱلنَّوافِذِ وبِغيابِ أيِّ مَصْدَرٍ ضَوئيٍّ تَبْدو ٱلحُجْرَةُ سَوداءَ حالِكةً ولا يُمكِنُكَ رُؤيةُ شيءٍ فيها.

وحِينَ يَكُونُ ٱلوَقتُ نَهارًا في بَلَدِكَ يَكونُ ٱلوَقْتُ لَيْلًا في ٱلجانِبِ ٱلمُقابِلِ منَ ٱلكُرَةِ ٱلأرضِيَّةِ. فٱلأَرضُ تُدوِّمُ حَولَ مِحْوَرِها مَرَّةً كلَّ أربعٍ وعشرينَ ساعةً في نَفْسِ ٱلوقت ٱلذي تُواصِلُ فِيهِ رِحْلَةَ ٱلدَّورانِ ٱلسَّنويَّةَ حَوْلَ ٱلشَّمسِ. ولَمَّا كانَتِ ٱلشَّمْسُ تُنيرُ ٱلجانِبَ ٱلَّذي يُواجِهُها من ٱلأرضِ فإنَّ نَهارَ ذلكَ ٱلجانِبِ يتحَوَّلُ إلى لَيْلٍ حِيْنَمَا يَدُورُ ذلكَ ٱلجانِبُ بَعيدًا عَنْ مُواجَهَةِ ٱلشَّمْسِ.

وتُزَوِّدُنا ٱلطَّبيعَةُ بكَمِّيَّاتٍ وافِرَةٍ مِن ٱلضَّوءِ، فمِن مَصادِرِ ٱلضَّوءِ ٱلطَّبيعِيَّةِ نَذْكُرُ ٱلشَّمسَ وٱلنُّجومَ وٱلقَمَرَ

تَحتُ إلى اليسارِ

تَحوي بَصَلةُ ٱلمِصباحِ ٱلكَهرَبائيِّ مِلَفًّا سِلْكيًّا رَفيعًا من ٱلتَّنغستِنِ هُوَ ٱلفَتيلَةُ. عِنْدَ مُرورِ ٱلتَّيَّارِ ٱلكَهرَبائيِّ تَسْخُنُ ٱلفَتيلَةُ وتتوهَّجُ باعِثَةً ضَوءًا أبيضَ، ويَعتمِدُ سُطوعُ ٱلضَّوءِ عَلى حَجْمِ ٱلمِلَفِّ. ويَحوي مِصباحُ ٱلصُّوديُوم بَصَلَةً مُحكَمَةَ ٱلسَّدِّ تشتمِلُ على بُخارِ ٱلصُّوديُومِ، وعِنْدَ مُرورِ ٱلتَّيَّارِ تتحوَّل بعضُ طاقتِهِ إلى ذرَّاتِ ٱلصُّوديُوم مُتسبِّبَةً في ٱبتعاثِ ضَوءٍ أصفرَ يَصْلُحُ لإنارةِ ٱلشَّوارعِ. وتَحوي مَصابيحُ أُخرى غازاتٍ مُختلِفَةً كالنِّيون تَبْتَعِثُ أنوارًا مُختلِفَةَ ٱلألوانِ، وتُستَخْدَمُ هذِهِ ٱلمَصابيحُ في لَوحاتِ ٱلدِّعايَةِ وٱلعَرْضِ لَيْلًا.

إلى أسفَلُ

أنواعٌ من ٱلمَصابيحِ ٱلمُختلِفةِ ٱلَّتي ٱستَخْدَمها ٱلإنسانُ على مَرِّ ٱلعُصورِ للإنارةِ الأصطِناعيَّةِ. وهي تَتفاوَتُ بين مِصباحِ ٱلزَّيتِ ٱلرُّومانيِّ ومِصباحِ ٱلنِّيون ٱلكهرَبائيِّ في ٱلمُدُنِ ٱلعَصرِيَّةِ.

مِصباح زيتٍ رُوماني – حوالى ١٠٠ ق. م.

شَمعةٌ وقاعِدَتُها – القرن ٱلثَّامِنَ عَشَر

مِصباحٌ غازيٌّ – القرن ٱلتاسعَ عَشَر

فتيلَة

مِصباحُ ٱلزَّيتِ ٱلمعدني – أواخر ٱلقَرْنِ ٱلتَّاسعَ عَشَر

خزَّانُ ٱلزَّيت

مِرْوَحَة

إلى اليمين

القمرُ غيرُ مُنير بذاتِهِ ، لكنّهُ يعملُ كمِرآةٍ ضخمةٍ فيعكِسُ ضوءَ الشّمسِ نحو الأرض . والقمر يدورُ حولَ الأرضِ مرّةً في الشّهرِ نرى في أثنائه أجزاءً متفاوتةً من سطحِ القمرِ مُنارةً بالشّمس .

وكذلِكَ وَميضَ البَرْق . والشّمسُ هي أقربُ النُّجومِ إلينا وهي كُرةٌ من الغازاتِ المُدوِّمَةِ تُرسِلُ شِواظَها واندِلاعاتِها المُتوهِّجَةَ عبْرَ أرجاءِ الفَضاء .

والنُّجوم الأُخرى الّتي تُرصِّعُ السَّماءَ في اللّيالي الصّافِيَةِ هي أيضًا كُراتٌ مِن الغازاتِ اللّاهبَةِ تَبْتَعِثُ الحرارةَ والضَّوء ، ولكِنّها لِبُعْدِها السَّحيقِ تَبْدُو فَقَطْ كَنُقَطٍ ضَوئيَّةٍ مُتلألِئَةٍ تُرصِّعُ القُبَّةَ السّماوِيَّةَ .

وَفي اللّيالي الصّافِيَةِ القَمْراءِ يُزَوِّدُنا البَدْرُ بِنورٍ يُمَكِّنُنا منَ الرُّؤيَةِ بوُضوحٍ . والقَمَرُ غيْرُ مُنيرٍ بِذاتِهِ فَهُوَ يَعكِسُ نُورَ الشَّمسِ الواقِعَ عَلَيْهِ نَحوَ الأرضِ ؛ فالشّمسُ في الواقِعِ هي المَصدرُ الأساسِيُّ لِنُورِ القَمَرِ الطَّبيعيِّ .

أمّا مَصادِرُ الضَّوءِ الّتي هيَ من صُنْعِ الإنسان فمُتعَدِّدَةٌ . وكانَ لَهَبُ الفتيلَةِ أوّلَ هٰذِهِ المَصادِرِ الأصطِناعِيَّةِ للإنارَةِ ثُمَّ استُخْدِمَ غازُ الاستِصْباح . واليَومَ عَمَّ استِخْدامُ المَصابيحِ الكَهْرَبائِيَّةِ العاديَّةِ مِنها والمُتَفَلْوِرَة في الإنارةِ وأصبحَتِ الإنارةُ الاصطِناعِيَّةُ عُنْصُرًا أساسِيًّا في حَضارَةِ الإنسانِ المُعاصِرِ وطُرُقِ مَعيشَتِهِ .

وهنالِكَ نَوعانِ مِن مَصادِرِ الإنارَةِ الاصْطِناعِيَّةِ الحَديثَةِ . في النَّوعِ الأوَّلِ مِنها يُسَخَّنُ جِسمٌ صُلْبٌ أو سائلٌ في بُصَيلَةٍ زُجاجِيَّةٍ خالِيَةٍ من الأوكْسِجين . وتتوَهَّجُ فَتيلَةُ المِصباحِ المُحْماةُ بالكَهْرَباءِ باعِثَةً ضوءًا أبْيَضَ ساطِعًا ؛ والفَتيلَةُ هي في الغالِبِ سِلكٌ رفيعٌ مُلتَفٌّ منَ التَّنْغستِن . وفي النَّوعِ الآخرِ من مَصادِرِ الإنارَةِ الاَصطِناعيَّةِ ينبَعِثُ الضَّوءُ مِن توهُّجِ ذرّاتِ الغازِ وجُزيئاتِهِ النّاتِجِ عَن إحمائها ، كَما يَحْصُلُ في مَصابيحِ بُخارِ الصُّوديوم ومَصابيحِ بُخارِ الزِّئبقِ المُستَخْدَمَةِ في إنارَةِ الشّوارع .

عِنْد إحْراقِ المَغْنِسيُوم يَسطَعُ بِنُورٍ أبيضَ يأخُذ بالأبصار . ويَعْتَمِدُ لَونُ الضَّوءِ المُبتَعَثِ على دَرَجةِ حَرارتِهِ ، فأحمَى الموادِّ تَسْطَعُ بلَونٍ أبيضَ مائلٍ إلى الزُّرْقَةِ ، وبانخفاضِ دَرجة الحرارةِ يُصبحُ التوهُّجُ مُصْفرًّا ثُمَّ يَحْمَرُّ وأخيرًا يتلاشَى – مع أنّ دَرَجةَ الحرارةِ لا تَزالُ عالِيَةً نِسْبِيًّا .

فوقُ

بتوقَّفُ لَونُ الضّوءِ الذي يَبْتعِثهُ النّجْمُ على دَرَجةِ حرارتِهِ . فالنُّجومُ العاليةُ دَرَجةِ الحَرارةِ جدًّا تَبْتَعِثُ نورًا أزرَقَ أو أبيضَ . والنُّجومُ الأقلُّ شِدَّةَ حَرارةٍ تَبْتَعِثُ نُورًا أصْفَرَ (كشَمْسِنا) أو بُرتُقاليًّا . والنُّجومُ الحُمْرُ هيَ الأقلُّ حَرارةً بينَ النُّجوم المتألّقة . أمّا سُطوعُ النّجمِ فلا عَلاقَةَ لهُ بشِدَّةِ الحرارة ، إذ إنَّ بَعْضَ النُّجوم الحُمْرِ المَعروفَة بالعِملاقَةِ هي أشدُّ سُطوعًا من النُّجومِ البيضِ المَعروفَةِ بالقَزَمِيَّة .

مِصْباحُ بُخارِ الصوديُوم لِلطُّرُق

بُصَيْلَةُ مِصباحٍ مُعبّأةٌ بالأرغون

ضوءُ الشَّمسِ

الشَّمسُ هِيَ أَقرَبُ النُّجومِ إِلَيْنا وتَبْعُدُ عَنِ الأرضِ حوالى ١٥٠ ملْيُونَ كِيلومِتْرٍ. وهي كُتْلَةٌ من الغازاتِ المُتَوهِّجةِ تَشُدُّها إلى المَرْكزِ جاذِبيَّةٌ قَوِيَّةٌ. ودَرَجةُ الحرارةِ علَى سَطْحِ الشَّمسِ هي ٦٠٠٠° مِئوِيَّة (سَنْتِغراد) ولكِنَّها في المَرْكَزِ حوالى ١٣٠٠٠٠٠٠° مِئوِيّة. والشَّمسُ هي المَصْدرُ الأساسيُّ للضَّوءِ والحَرارةِ على الأرضِ. وتَتَولَّدُ هذه الطَّاقَةُ في مَركَزِ الشَّمسِ نَتيجَةً لِتَفاعلاتٍ مُعَقَّدَةٍ تُعْرَفُ بالتفاعُلاتِ النَوَوِيَّةِ الحرارِيَّةِ (أُنظُر صَفحة ٢٠٠)، يتحَوَّلُ فيها الهَيدرُوجينُ إلى هِلْيُومٍ وتنطلِقُ مِنها كمِّيّاتٌ هائلَةٌ مِنَ الحَرارة.

وتَخسَرُ الشَّمسُ من كُتْلَتِها نَتيجَةً لِهذه التَّفاعُلات أَرْبَعَةَ مَلايينِ طُنٍّ في الثَّانِيَةِ ويُقَدِّرُ العُلَماءُ أنَّ هذِه التفاعُلاتِ النَّوويَّةَ سَتَستَمِرُّ على مَدى مِئاتِ مَلايينِ السِّنينَ قَبْلَ أن يُستَهْلَكَ هَيْدروجينُ الشَّمس وتَبْدَأَ في البُرودةِ. وتَبْتَعِثُ الشَّمسُ حالِيًّا كَمِّيَّاتٍ هائلةً مِنَ الطَّاقةِ الحَرارِيَّةِ بحَيْثُ إنَّهُ لَوْ أُحيطَتِ الشَّمْسُ بغِلافٍ جَليديٍّ سُمْكُهُ كِيلُومِتْر لانْصَهَرَ تمامًا في حوالَى ٩٠ دَقيقَةً.

وتَندَفعُ الحَرارة المُتَوَلِّدَةُ في باطِنِ الشَّمسِ إلى سَطْحِها فَيتوَهَّجُ بِلَوْنٍ أَصْفَرَ ساطِعٍ ويُشِعُّ كمِّيَّاتٍ هائلةً من الضَّوء. وتَنْتَشِرُ الطَّاقَةُ الحرارِيَّةُ والضوئيَّةُ المُنبَعِثَةُ مِنَ الشَّمسِ عَبْرَ الفَضاءِ في جَميعِ الاتِّجاهاتِ.

إلى اليَمين

ضَوءُ الشَّمسِ ضَروريٌّ لِنُمُوِّ النَّبات. فَلَو تُرِكَتْ قُرْمَةُ حَطَبٍ في مَرْجٍ عُشْبيٍّ فَتْرَةً طَويلَةً يُلاحَظُ عِنْدَ رَفْعِها أنَّ العُشْبَ تَحْتَها مُصفَرُّ اللَّونِ وذلكَ لاحتِجابِ نُورِ الشَّمسِ عَنْهُ وتَعَطُّلِ تَكوينِ اليَخضُورِ وتَوقُّفِ النُمُوِّ الطَّبيعيِّ لِلنَّبتِ.

إلى اليمين

يُمكِنُ استِخدامُ حَرارةِ الشَّمسِ في إشْعالِ نارٍ، وذلِكَ بتَجميعِ أَشِعَّةِ الشَّمسِ في بُؤْرَةٍ بواسِطَةِ عَدَسَةٍ مُحَدَّبَةٍ. إنَّ دَرَجَةَ الحَرارَةِ في نُقطَةِ التَّجَمُّعِ كافِيَةٌ لإشعالِ ورَقَةٍ أو عُودٍ رَفيعٍ جافٍّ.

إلى أسفَلُ

تُستَخدَمُ الدَّفيئةُ الزُّجاجيَّةُ لِتَهيئَةِ جوٍّ دافِىءٍ (في بَعْضِ المَناطِقِ البارِدَةِ) يُمكِّنُ النباتاتِ من النُّمُوِّ. والسَّبَبُ في ذلِكَ هُوَ أنَّ الأشِعَّةَ تحْتَ الحَمراء من الشَّمسِ تَنفُذُ مِنَ الزُّجاجِ وتُسَخِّنُ الأرضَ والهواءَ داخلَ الدَّفيئةِ. والزُّجاجُ قليلُ الإنفاذِ لِلحَرارةِ لِذا فإنَّ الطَّاقَةَ الدَّاخلةَ إلى الدَّفيئةِ تَفُوقُ الطَّاقَةَ المُشِعَّةَ مِنها. وتَستَعينُ بَعْضُ الدَّفيئاتِ أَحيانًا بالتَّدفِئةِ الدَّاخِليَّةِ.

والطَّاقةُ الحراريَّةُ مِنَ الشَّمسِ تُعْرَفُ **بالإشعاعِ تحتَ الأحمرِ**، وهو إشعاعٌ غَيْرُ مرئيٍّ ولكنَّهُ يُستَشعَرُ بالحِسِّ، فكُلُّ جِسْمٍ يَمْتَصُّ هذا الإشعاعَ يُصبِحُ أسْخَنَ منْ ذِي قَبْلُ. وهُنالِكَ إشعاعٌ آخَرُ منَ الشَّمسِ هُو **الإشعاعُ فوقَ البَنَفْسَجِيِّ** وهذا الإشعاعُ، بِخلافِ الضَّوءِ والإشعاعِ تحتَ الأحمرِ، لا يَصِلُ مِنْهُ إلى سَطْحِ الأرْضِ إلّا القليلُ القَليلُ. لكِنَّ هذا القليلَ منَ الإشعاعِ فَوْقَ البنفسجيِّ مُفيدٌ صحيًّا، كما إنَّ بَعْضَ التفاعُلاتِ الكيماويَّةِ لا تَحْدُثُ بِدُونِهِ. والطَّاقةُ الحراريَّةُ والضوئيَّةُ الَّتي تَصِلُنا منَ الشَّمسِ ضَروريَّةٌ لِلْحَياة. فالأشِعَّةُ تحتَ الحمراءِ تحْفَظُ دَرجةَ حَرارةِ الأرضِ والجَوِّ في مُسْتَوًى يَصْلُحُ لِلعَيْشِ، والأشِعَّةُ الضوئيَّةُ تُمكِّننا منَ الرُّؤْيَةِ وهِيَ ضَروريَّةٌ لِنُمُوِّ النَّباتِ. فَبِدُونِ طاقَةِ الشَّمسِ يَغْمُرُ الأرضَ ظَلامٌ دامِسٌ وبَرْدٌ مُفْرِطٌ. ولَنْ تَطُولَ حَياةُ الإنسانِ في ظُروفٍ كَهٰذِه إذ إنَّ النَّباتاتِ والأحياءَ الأُخْرَى الَّتي يَعْتَمِدُ علَيْها في مَعاشِهِ سَيُقْضَى علَيْها في غِيابِ الدِّفْءِ والضَّوءِ.

والعَمليَّةُ الَّتي بِها تَستَغِلُّ النَّباتاتُ الخَضْراءُ طاقَةَ الضَّوءِ هي عَمليَّةُ **التَّمثيلِ الضَّوئِيِّ**. وفيها تَعْمَلُ المادَّةُ الخَضْراءُ في النَّباتِ (المَعْرُوفَةُ **باليَخضورِ** أو الكلُوروفيل) على امتِصاصِ طاقَةِ الشَّمْسِ وتحويلِها إلى طاقَةٍ كيماويَّةٍ، وذٰلكَ بِتَركيبِ الكَرْبُوهيدْرات (ثُمَّ سِواها منَ المَوادِّ العُضْوِيَّةِ) من الماءِ الَّذي تأتي بِهِ الجُذورُ مِنَ التُّربَةِ وثاني أُكسيدِ الكَرْبونِ مِنْ هَواءِ الجَوِّ وَيَنْطَلِقُ الأُكْسِجينُ عائدًا إلى هَواءِ الجَوِّ.

وتتوافَرُ في مُعظَمِ أرْجاءِ سَطْحِ الأرضِ كَمِّيَّاتٌ كافِيَةٌ مِنَ الحرارةِ والضَّوءِ والهواءِ تُيَسِّرُ أسبابَ العَيْشِ للإنسانِ. وهٰذِهِ الظُّروفُ لا تتوافَرُ في الكَواكِبِ الأُخْرَى من النِّظامِ الشَّمسِيِّ، فلَيْسَ في أيٍّ من هٰذه الكواكِبِ جوٌّ يَحْتَوي الأُكسِجينَ أو ماءٌ يُمكِنُ كَشْفُهُ. كَما إنَّ دَرَجَةَ الحرارةِ عاليَةٌ جدًّا في الكواكِبِ الأقْرَبِ إلى الشَّمْسِ من الأرضِ وخفيضَةٌ جدًّا في الكواكِبِ الأبْعَدِ. لِذلكَ فإنَّ الحَياةَ كما نَعْرِفُها مُسْتَحيلَةُ الوُجُودِ في تِلْكَ الكواكِبِ.

إلى أسفَلُ

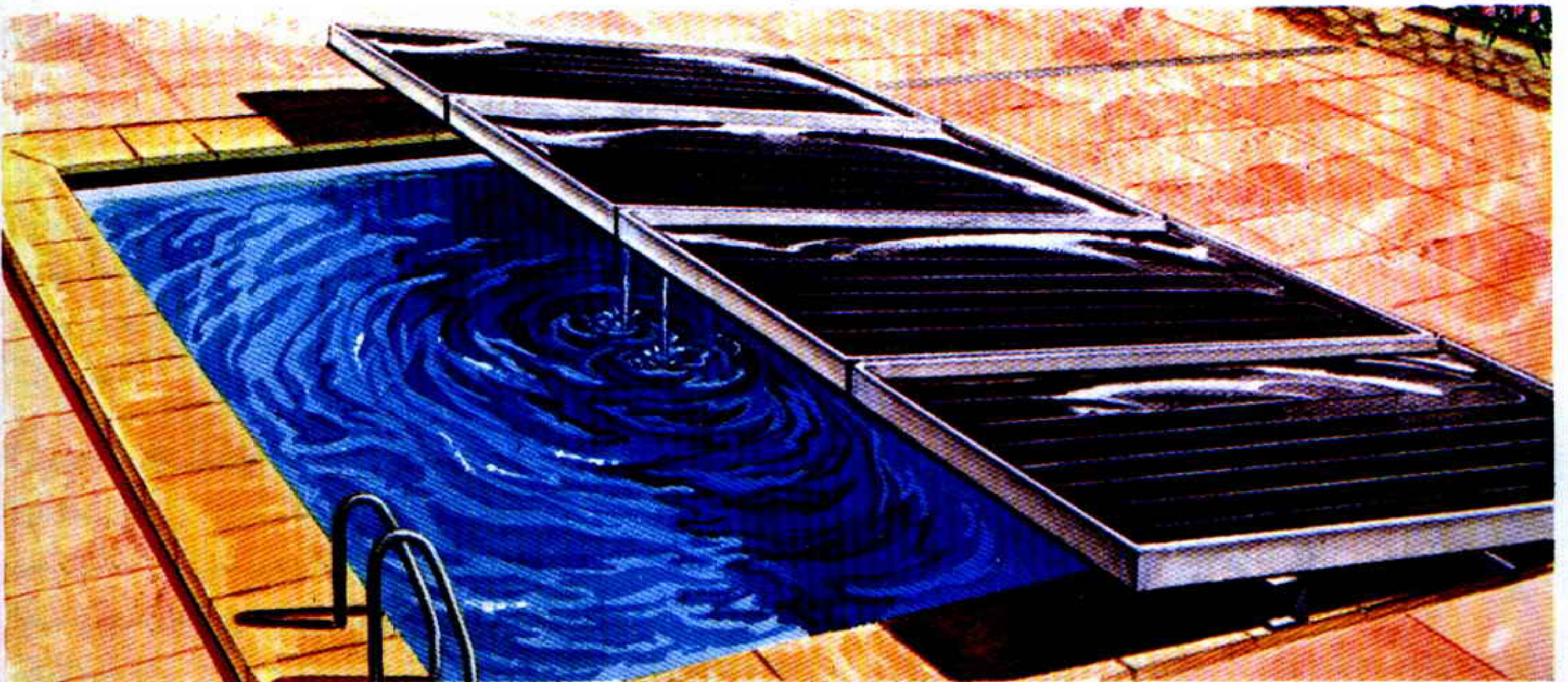
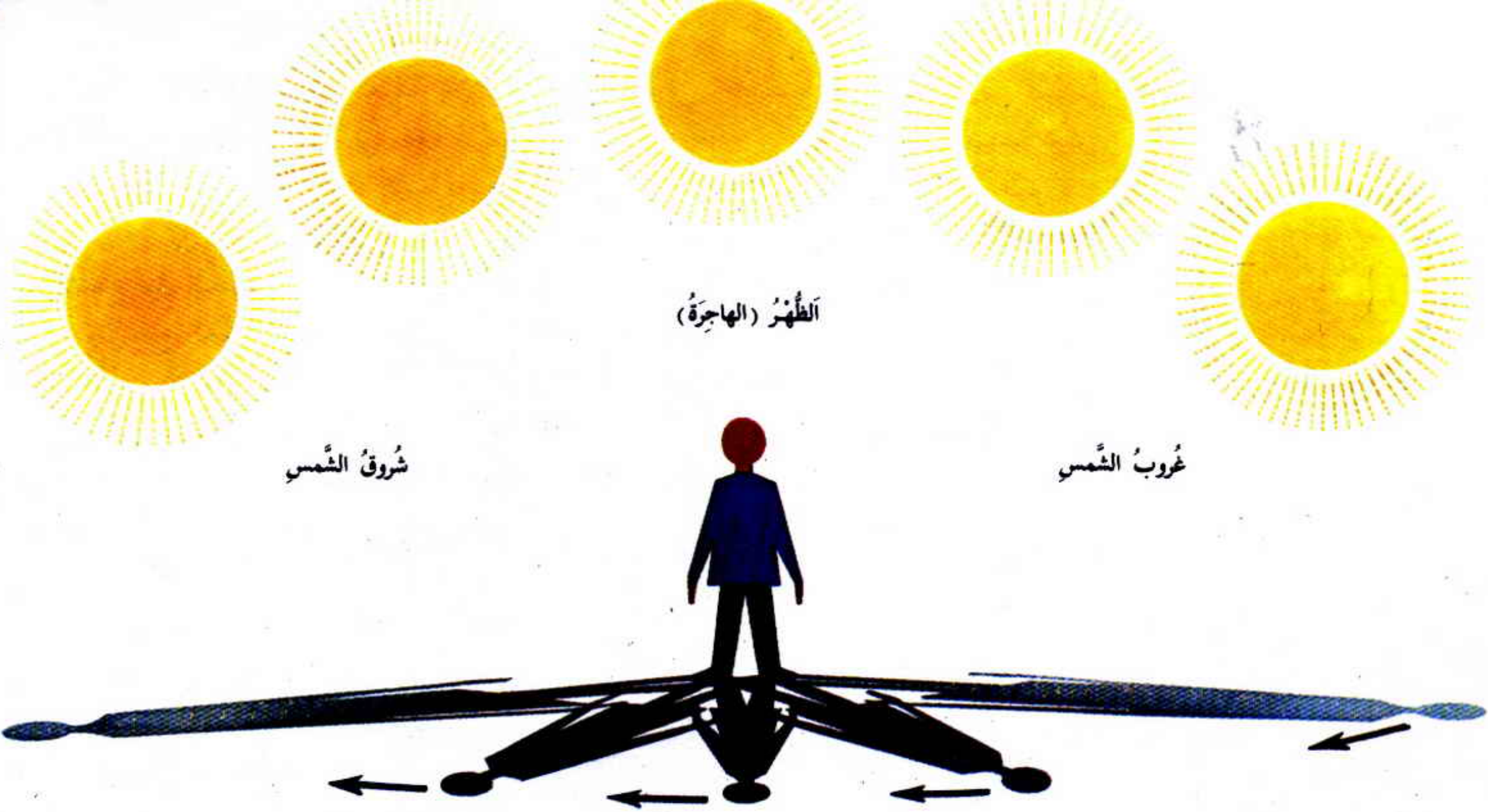
بِتأثيرِ الإشعاعاتِ فَوْقَ البَنفسَجيَّةِ يتكَوَّنُ فيتامين د في خَلايا الجلدِ. وهذا الفيتامينُ ضروريٌّ لِنُمُوِّ العِظامِ نُمُوًّا سَليمًا. كذلكَ فإنَّ هذه الأشِعَّةَ تُكْسِبُ البَشرَةَ سُمْرَةً برونزيَّةً مُستَحَبَّةً، لكِنَّ التعرُّضَ لِمزيدٍ من هذه الإشعاعاتِ يُسبِّبُ حُرْقَةً في الجلدِ وقدْ يُعرِّضُ الجِسْمَ إلى أعراضٍ خَطيرةٍ أُخرى.

إلى أسفَلُ

بِركَةُ سِباحَة تُسَخِّنُها أشِعَّةُ الشَّمْس. وقدِ استُخْدِمَتْ أجْهِزةُ تَسْخينِ الماءِ بأشِعَّةِ الشَّمسِ مُنْذُ سَنَواتٍ عَديدةٍ في المَناطِقِ الحارَّةِ. ويتأَلَّفُ مُعْظَمُها من صَفائحَ مَعْدِنيَّةٍ سَوداءَ تَمُرُّ فيها أنابيبُ المِياهِ ويُغَطِّيها لَوحٌ زُجاجيٌّ. فالصَّفائحُ السَّوداءُ تَعْمَلُ على امتِصاصِ حَرارةِ الشَّمسِ والزُّجاجُ يَعْزِلُها، فَينتَقِلُ مُعظَمُ هٰذِهِ الحرارةِ إلى الماءِ في الأنابيبِ.

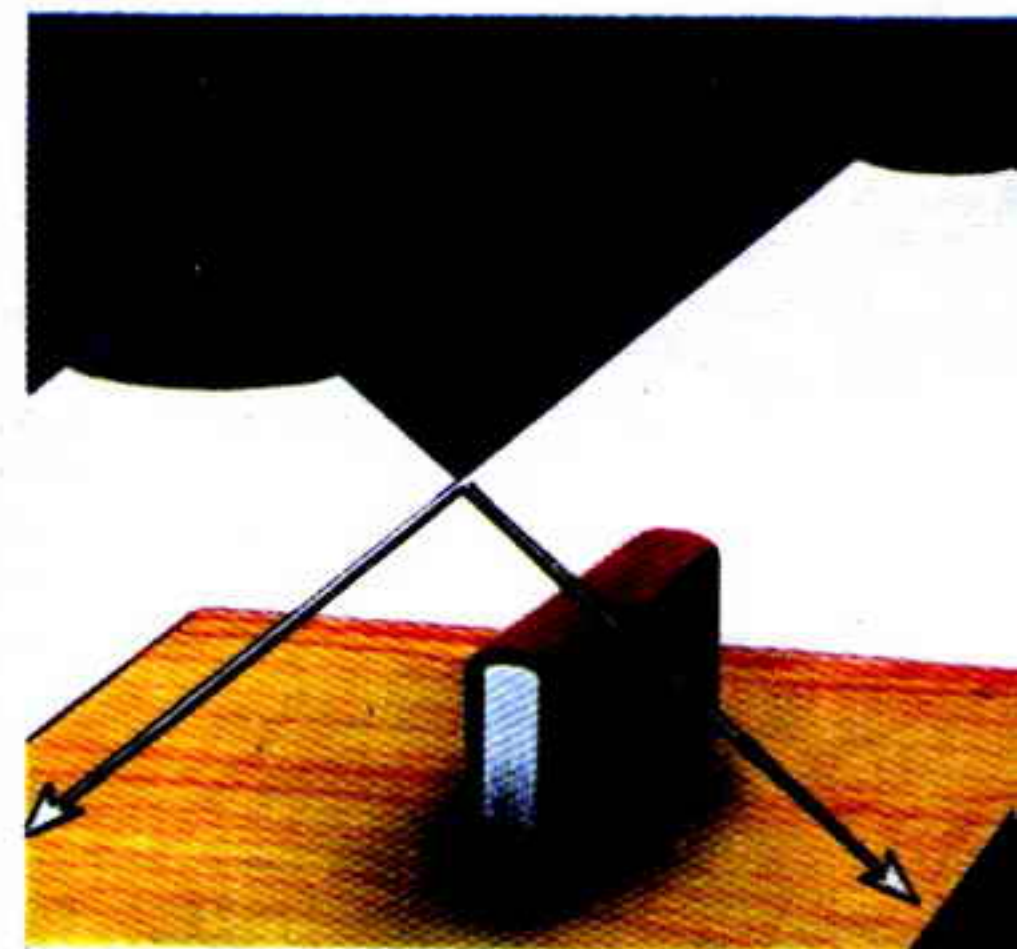
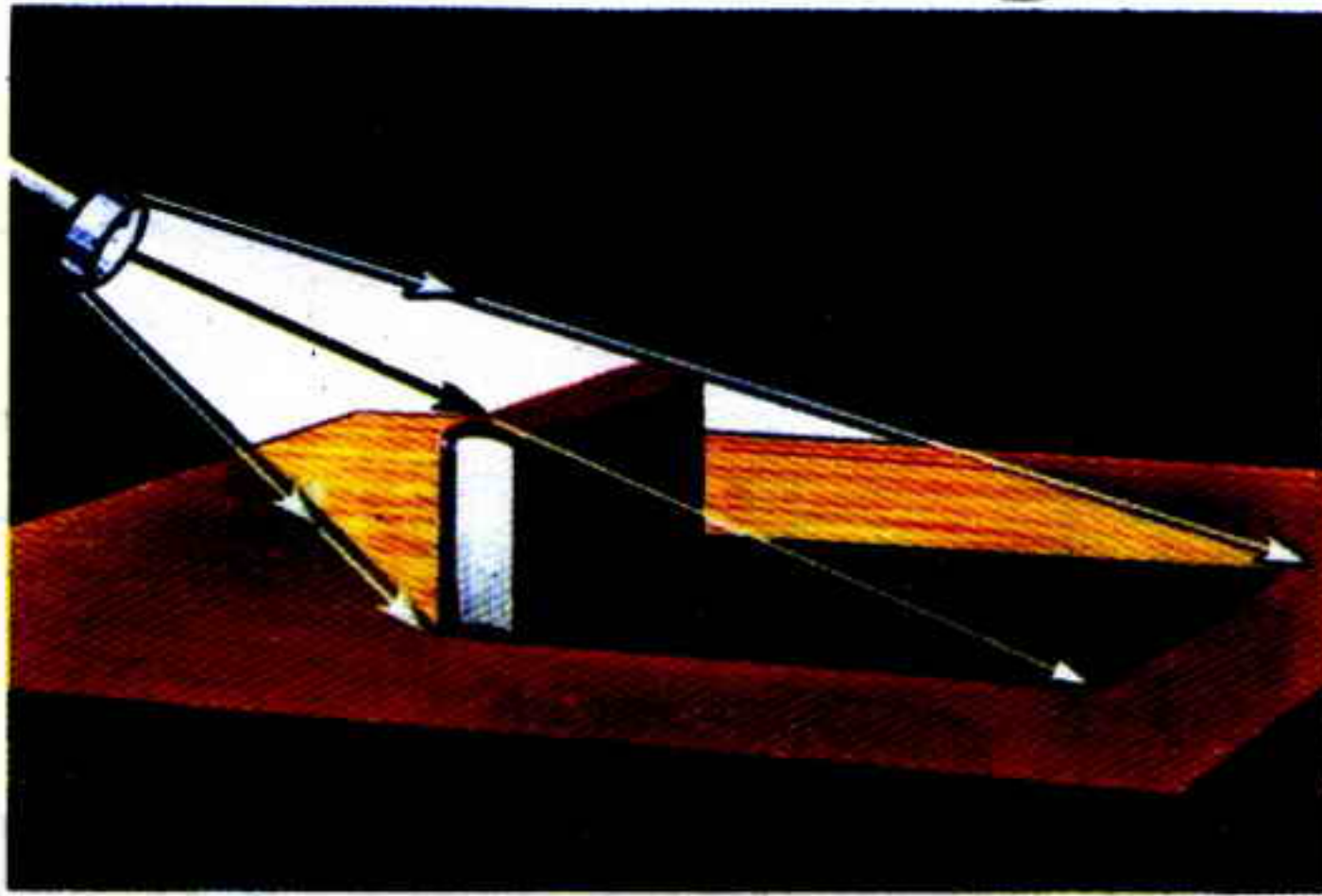
اَلظُّهرُ (الهاجِرَةُ)

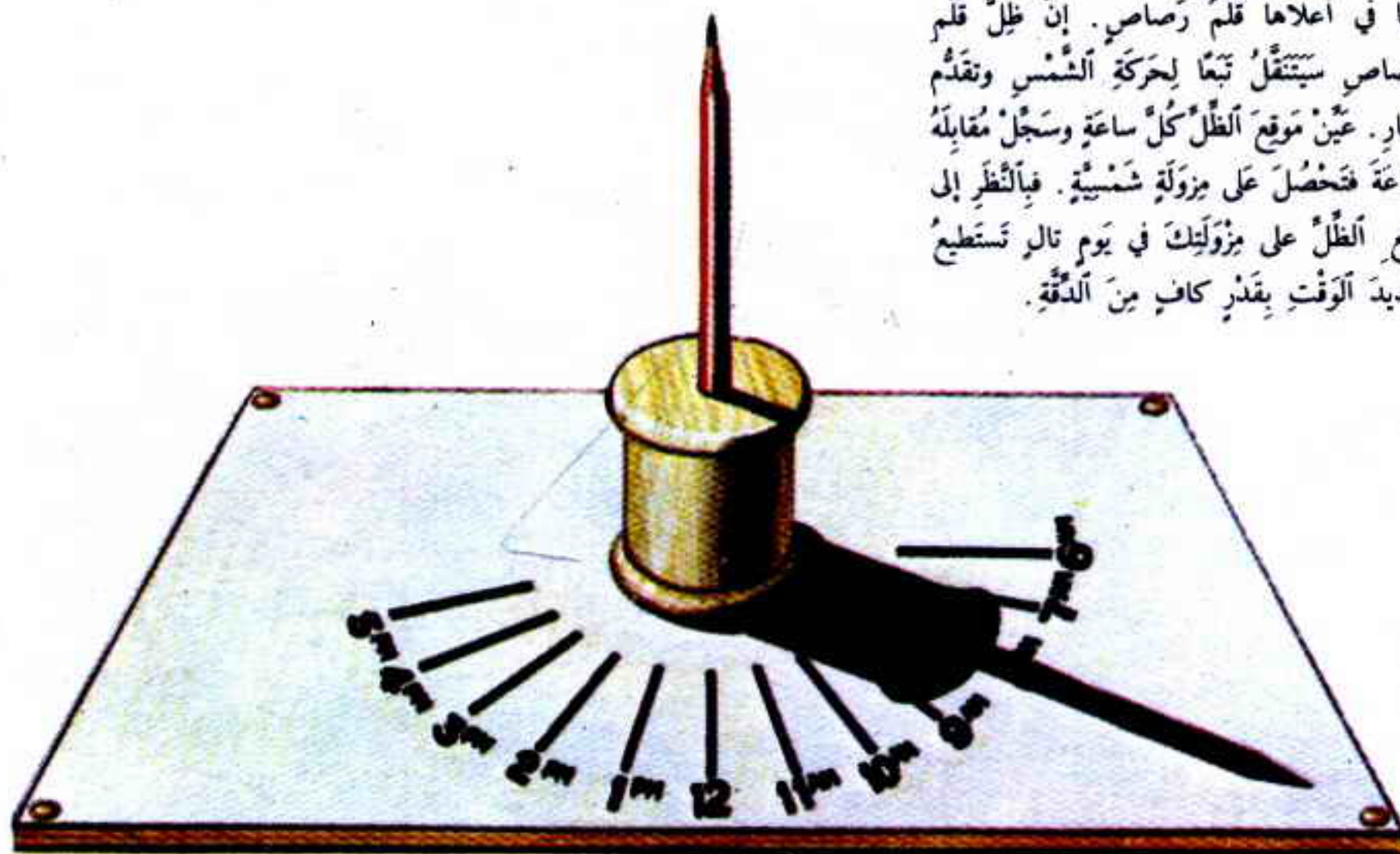
شُروقُ الشَّمسِ

غُروبُ الشَّمسِ

فوقُ

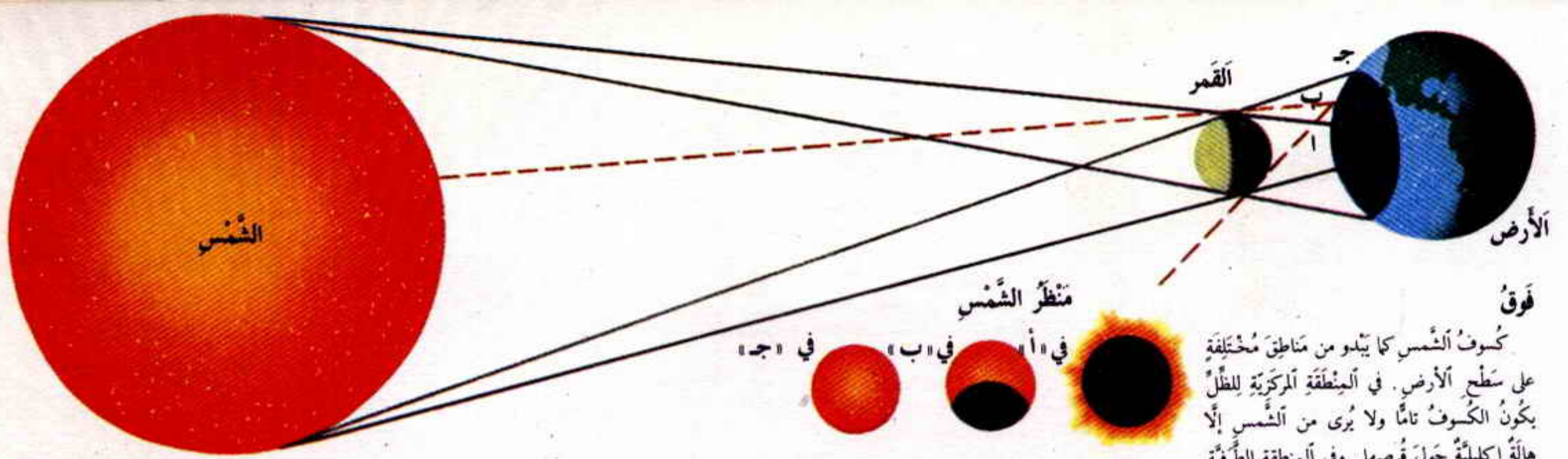
تتَباينُ أطوالُ الظِّلالِ وزَوايا سُقوطِها في يَومٍ مُشمِسٍ طَوالَ النَّهارِ. عِندَ الشُّروقِ أو الغُروبِ والشَّمسُ قُربَ الأُفُقِ يكُونُ الظِّلُّ طَويلاً واتّجاهُهُ إلى الجانِبِ الآخَرِ بَعيدًا عن مَوقِعِ الشَّمسِ غَربًا أو شَرقًا. ويَبلُغُ طُولُ الظِّلِّ حَدَّهُ الأدنى عِندَ الظَّهيرةِ والشَّمسُ في السَّمْتِ.

إلى اليَمينِ

عِندَ سُقوطِ حُزمَةٍ ضَيِّقَةٍ مِن الأشِعَّةِ من مَصدَرٍ ضَوئيٍّ صَغيرٍ على جِسمٍ فإنّها تُلقي لَهُ على الجانِبِ الآخَرِ ظِلًّا ثَقيلاً مُحدَّدَ المَعالِمِ، ويَعتَمِدُ طُولُ الظِّلِّ على الزّاويةِ الّتي تَرِدُ بِها حُزمَةُ الأشِعَّةِ الضوئيَّةِ. أمّا إذا تعدَّدتْ مَصادِرُ الضَّوءِ واتَّسعَتْ حُزمَةُ الأشِعَّةِ فإنَّ الظِّلالَ تتعَدَّدُ وتَفقِدُ حِدَّةَ المَعالِمِ.

إلى أسفَلَ

صُنعُ مِزوَلَةٍ شَمسيَّةٍ. ثَبِّتْ قِطعَةً من الوَرقِ المُقَوَّى في مَوقِعٍ مُشمِسٍ جافٍّ حَيثُ يُمكِنُ تَركُها، ثُمَّ ألصِقْ فَوقَها بالصَّمغِ بَكَرَةَ خُيوطٍ مُثبّتًا في أعلاها قَلَمُ رَصاصٍ. إنَّ ظِلَّ قَلَمِ الرَّصاصِ سَيَتنَقَّلُ تَبعًا لِحَرَكَةِ الشَّمسِ وتقَدُّمِ النَّهارِ. عَيِّنْ مَوقِعَ الظِّلِّ كُلَّ ساعةٍ وسَجِّلْ مُقابِلَهُ السّاعَةَ فتحصُلَ على مِزوَلَةٍ شَمسيَّةٍ. فبِالنَّظَرِ إلى مَوقِعِ الظِّلِّ على مِزوَلَتِكَ في يَومٍ تالٍ تَستَطيعُ تَحديدَ الوَقتِ بِقَدرٍ كافٍ مِنَ الدِّقَّةِ.

اَلظِّلالُ

عِندَما يَسقُطُ الضَّوءُ على مادَّةٍ مُنفِذَةٍ كالزُّجاجِ أو الماءِ تَنفُذُ مُعظَمُ الأشِعَّةِ السّاقِطَةِ عَبرَ تلكَ المادَّةِ، وتُسَمَّى هٰذه مَوادَّ **شَفّافةً** ويُمكِنُنا رُؤيةُ الأجسامِ مِن خلالِها. أمّا المَوادُّ الأُخرى الّتي لا تسمَحُ لأشِعَّةِ الضَّوءِ بالمُرورِ عَبرَها كالخَشَبِ والمَعادِنِ فتُسَمَّى **اللاشَفّافةَ** أو غَيرَ المُنفِذةِ.

وعِندَ سُقوطِ الضَّوءِ على جِسمٍ غَيرِ شَفّافٍ يُلقي ذلِكَ الجِسمُ ظِلًّا إلى الجانِبِ الّذي حَجَبَ عَنهُ الضَّوءَ. وتَحدُثُ الظِّلالُ كَنتيجَةٍ لِمَبدَإٍ بَسيطٍ ومُهِمٍّ هُوَ أنَّ أشِعَّةَ الضَّوءِ تَسري في خُطوطٍ مُستَقيمَةٍ ولا يُمكِنُها الالتفافُ حَولَ المُنعَطَفاتِ.

فَوقُ

كُسوفُ الشَّمسِ كما يَبدو من مَناطِقَ مُختَلِفَةٍ على سَطحِ الأرضِ. في المِنطَقَةِ المَركَزِيَّةِ لِلظِّلِّ يكُونُ الكُسوفُ تامًّا ولا يُرى من الشَّمسِ إلّا هالَةٌ إكليلِيَّةٌ حَولَ قُرصِها. وفي المِنطقةِ الطَّرفِيَّةِ من الظِّلِّ يكُونُ الكُسوفُ جُزئيًّا يَستَطيعُ النّاظِرُ مِنهُ أن يَرى جُزءًا من الشَّمسِ. أمّا في خارِجِ مِنطقةِ الظِّلِّ فلا تُكسَفُ الشَّمسُ.

إلى اليَسارِ

مَسارُ ظِلِّ القَمرِ خِلالَ الكُسوفِ الشَّمسِيَّةِ بينَ ١٩٦٨ و ١٩٨٩. إنَّ دَورانَ الأرضِ حَولَ مِحوَرِها يَجعَلُ ظِلَّ القَمرِ الثَّقيلَ يَنتَقِلُ في مَسارٍ ضَيِّقٍ عَبرَ سَطحِ الأرضِ. ولَمّا كانَت سُرعَةُ الدَّورانِ حَوالَى ٥٦٠٠ كيلومترٍ في السّاعَةِ فإنَّ فَترَةَ مُشاهَدَةِ الكُسوفِ الكُلِّيِّ من مَوقِعٍ واحِدٍ على الأرضِ لا تَطُولُ أكثَرَ من بِضعِ دَقائقَ.

الكاميرا ذاتُ الثُّقْبِ

فَوق

الكاميرا ذاتُ الثُّقْبِ. تَحصُلُ الصُّورةُ بأشِعَّةٍ تَصدُرُ من كُلِّ جُزءٍ من الشَّمعَةِ فتَمُرُّ عَبرَ الثُّقْبِ ثُمَّ تَسقُطُ على وَرَقَةِ الاستِشفافِ. ومَجموعُ هٰذِهِ الأشِعَّةِ السّاقِطَةِ على وَرَقَةِ الاستِشفافِ يُؤلِّفُ الصُّورَةَ.

ونَتيجةً لهٰذا المَبدَإِ نُلاحِظُ أنَّ الظِّلالَ الَّتي تُلقيها الأجسامُ المُنارَةُ مِنْ جانِبٍ واحِدٍ تكُونُ عادةً واضِحَةً مُحَدَّدَةَ المَعالِمِ. وتَعتَمِدُ حِدَّةُ مَعالِمِ الظِّلِّ على وَضعِ المَصدَرِ الضَّوئيِّ. فالظِّلُّ الَّذي يُلقيهِ مِصباحٌ كَهرَبائيٌّ ساطِعٌ صَغيرٌ خَلفَ جِسمٍ ما يكُونُ ثَقيلًا أسوَدَ مُحَدَّدَ المعالِمِ لأنَّ أشِعَّةَ الضَّوءِ صادِرَةٌ من اتِّجاهٍ واحِدٍ. لكِنْ إذا تَعَدَّدَتِ المَصابيحُ الكَهرَبائيَّةُ ووَرَدَ الضَّوءُ مِنْ عِدَّةِ اتِّجاهاتٍ فإنَّ الظِّلالَ تُصبِحُ خَفيفَةً وغَيرَ مُتَمَيِّزَةٍ.

يَعتَمِدُ طُولُ الظِّلِّ على الزّاوِيَةِ الَّتي تَسقُطُ بها أشِعَّةُ الضَّوءِ. فَلَوْ راقَبْتَ أطوالَ الظِّلالِ حَولَكَ في يَومٍ مُشمِسٍ لَرأيتَها تَتَغَيَّرُ في مُختَلِفِ أوقاتِ النَّهارِ، تَبَعًا لِتَغَيُّرِ مَوقِعِ الشَّمسِ. والشَّمسُ تَرتَفِعُ بعد إشراقِها حَتّى تُصبِحَ في سَمْتِ الرَّأسِ عِندَ الظَّهيرَةِ ثُمَّ تَبدَأُ انحِدارَ الغُروبِ. ونَتيجةً لِهٰذا التَّغَيُّرِ في مَوقِعِ الشَّمسِ واتِّجاهِ أشِعَّتِها يُلقي الجِسمُ الثّابِتُ ظِلالًا مُتَفاوِتَةَ الطُّولِ وفي اتِّجاهاتٍ مُختَلِفَةٍ كُلَّما تَقَدَّمَ النَّهارُ. وتُستَخدَمُ تَغَيُّراتُ الاتِّجاهِ هذهِ في تَحديدِ الوَقتِ **بالمِزوَلَةِ الشَّمسِيَّةِ**.

في الأحوالِ العادِيَّةِ وخِلالَ دَورانِ القَمرِ حَولَ الأرضِ والأرضِ حَولَ الشَّمسِ لا تَقَعُ الأرضُ والقَمرُ والشَّمسُ في خَطٍّ مُستَقيمٍ لاختِلافِ مُستَوى مَدارِ الأرضِ عَنْ مُستَوى مَدارِ القَمرِ. لكِنْ يَحدُثُ أحيانًا أنْ يَمُرَّ القَمرُ (وهُوَ في المَحاقِ) مُباشَرَةً بَينَ الأرضِ والشَّمسِ فيُلقي ظِلًّا ضَخمًا على جُزءٍ مِن سَطحِ الأرضِ ويُعرَفُ ذلك **بالكُسوف**. في مَركَزِ الظِّلِّ على سَطحِ الأرضِ يُحجَبُ الضَّوءُ تَمامًا ويكُونُ كُسوفُ الشَّمسِ **كُلِّيًّا** في ذلك المَكانِ. أمّا جَوانِبُ الظِّلِّ فلا تُحجَبُ عَنْ ضَوءِ الشَّمسِ تَمامًا ويَكُونُ الكُسوفُ **جُزئيًّا** فيها. ويُلاحَظُ انخِفاضٌ في دَرَجَةِ الحَرارةِ في مَناطِقِ الكُسوفِ لِتَوَقُّفِ وُصُولِ طاقَةِ الشَّمسِ إلَيها.

وتَتَوافَرُ إمكانِيَّةُ **خُسوفِ القَمرِ** في لَيلَةِ تَمامِهِ (بَدرًا) إذا صادَفَ مُرورُ الأرضِ مُباشَرَةً بَينَه وبَينَ الشَّمسِ فَتَحجُبُه بِظِلِّها. ويكُونُ الخُسوفُ كامِلًا حَيثُ يُحجَبُ الضوءُ عَنْهُ تَمامًا وجُزئيًّا حِينَما يُحجَبُ عَنْهُ ضَوءُ الشَّمسِ جُزئيًّا.

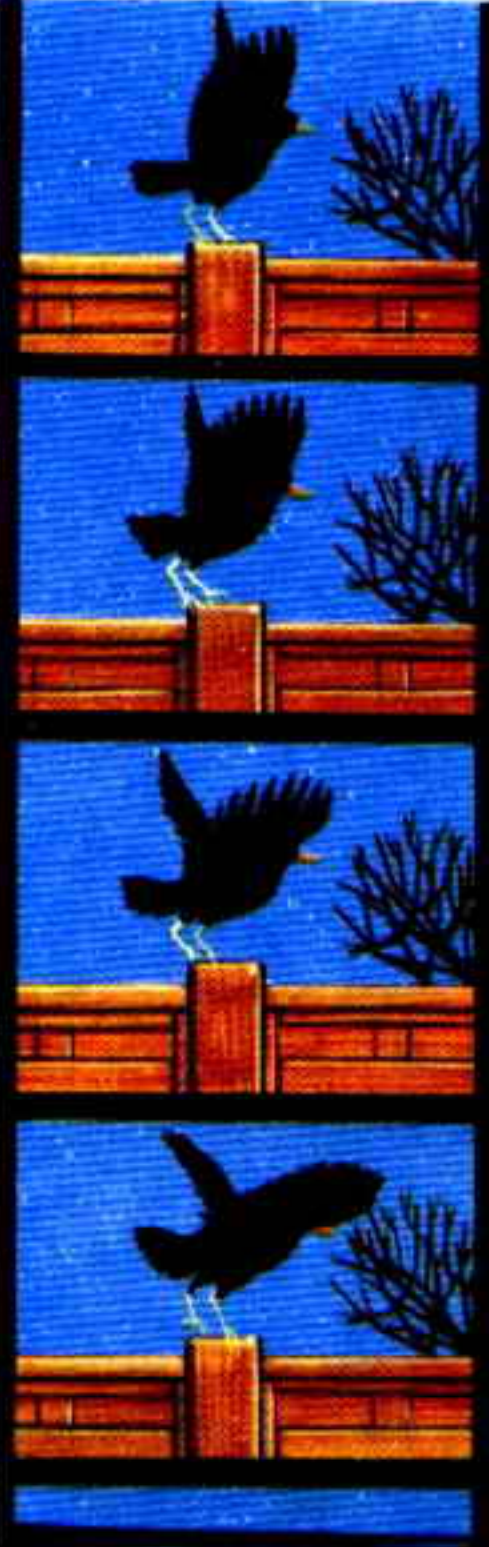
وتَستَطيعُ أنتَ بِتَجرِبَةٍ بَسيطَةٍ التَّدليلَ على أنَّ الضَّوءَ يَسيرُ في خُطوطٍ مُستَقيمَةٍ. خُذْ عُلبَةً ذاتَ سِدادٍ واسِعٍ واستَبدِلْ بالسِّدادِ رَقيقَةً مَعدِنيَّةً تَسُدُّ بها فُتحَةَ العُلبة ثُمَّ اثقُبْ مَركَزَ الفُتحَةِ بِدَبّوسٍ. أزِلْ قاعَ العُلبَةِ واستَبدِلْ به وَرَقَةَ استِشفافٍ مَتينَةً. وَجِّهْ فُتحَةَ العُلبَةِ ذاتَ الثُّقبِ نَحوَ شَمعَةٍ مُضاءَةٍ على مَسافَةٍ قَريبَةٍ وراقِبِ الصُّورةَ المَعكوسةَ المُتَكَوِّنَةَ لها على وَرَقَةِ الاستِشفافِ.

عَضَلَة خارجيَّة
الرُّطوبَةُ الزُّجاجيَّة
الرُّطوبَةُ المائيَّة
عَضَلَةٌ هُدْبيَّة
العَدَسَة
القُزَحِيَّة
القَرْنيَّةُ
عَضَلَةٌ هُدْبيَّة
عَضَلَةٌ خارجيَّة
الشَّبَكيَّةُ
البُقْعَةُ الصَّفراء
العَصَبُ البَصَريُّ
البُقْعَةُ العَمْياء

إلى اليَسارِ

العَيْنُ. الطَّبَقَةُ الخارجيَّةُ البَيْضاءُ القاسِيَةُ الَّتي تُغَلِّفُ مُقْلَةَ العَيْنِ هِيَ الصُّلْبَةُ. وقَتامَةُ الجِدارِ الدَّاخليِّ تَمْنَعُ انْعِكاساتِ الضَّوءِ وتَشَوُّشَ الرُّؤْيَةِ. والبُقْعَةُ الصَّفراءُ هي أشَدُّ مَناطِقِ الشَّبَكيَّةِ حَساسِيَةً ودِقَّةَ إبْصارٍ، أمَّا النُّقْطَةُ العَمْياءُ وهي مَدْخَلُ العَصَبِ البَصَريِّ إلى العَيْنِ فغَيْرُ حَسَّاسَةٍ للضَّوءِ.

إلى أسفَلُ

جهازُ إسْقاطٍ سينَمائيٌّ مَنْزِليٌّ وقِطْعَةٌ مِنَ الفيلمِ المَعْروض. عِنْدَ مُشاهَدَةِ الفيلمِ تُبْصِرُ العَيْنُ تَفاصيلَ التَغَيُّرِ التدريجيِّ في الصُّوَرِ المُتَتالِيَةِ كتَغَيُّرٍ مُسْتَمِرٍّ، فَيَتَراءى لَنا ذلِكَ كَحَرَكَةٍ مُسْتَمِرَّةٍ. أمَّا الثُّقوبُ المُسْتَطيلَةُ القَطْعِ في طَرَفِ الفيلمِ فَهِيَ ثُقوبٌ دَليلِيَّةٌ لِضَبْطِ مَسْراهُ في جِهازِ الإسْقاطِ.

العَيْنُ

كُلٌّ مِن عَيْنَيكَ كُرَةٌ، هِيَ مُقْلَةُ العَيْنِ، مُسْتَقِرَّةٌ بأمانٍ في مَحْجِرِها مِنَ الجُمْجُمة. وفي مُقَدِّمَةِ العَيْنِ طَبَقَةٌ خارجيَّةٌ يُسَمَّى الجُزْءُ الشَّفافُ مِنْها **القَرْنِيَّةَ**. أمَّا الجُزْءُ المُلَوَّنُ الظاهِرُ مِنَ العَيْنِ فهُوَ **القُزَحِيَّة**، وثَقْبُ القُزَحِيَّةِ الَّذي يَبْدو أسْوَدَ هُوَ **بُؤْبُؤُ** العَيْنِ أو **حَدَقَتُها**. والحَدَقَةُ تَتَّسِعُ أو تَضيقُ لإمْرارِ مَزيدٍ من الضَّوءِ أو الأقَلِّ مِنْهُ.

يَنْفُذُ الضَّوءُ مِنَ الحَدَقَةِ إلى العَدَسَةِ الَّتي تُمَرْكِزُ أشِعَّةَ الضَّوءِ لإسْقاطِ الصُّورِ على **الشَّبَكيَّة**. والشَّبَكيَّةُ تُبَطِّنُ الجِدارَ الخَلْفِيَّ لِلعَيْنِ وتَحوي مَلايينَ الخَلايا العَصَبيَّةِ الحَسَّاسَةِ لِلضَّوءِ (منها **العَصَوِيَّة** ومنها **المَخْروطِيَّة** – انظر صفحة ١٦٦) وهٰذِهِ تُحَوِّلُ الإحساساتِ الضَّوئيَّةَ إلى إشاراتٍ كهرَبائيَّةٍ يَحْمِلُها **العَصَبُ البَصَريُّ** إلى المُخِّ.

وتتكَوَّنُ الصُّوَرُ على الشَّبَكيَّةِ مَقْلوبَةً رأسًا على عَقِبٍ لكِنَّها تُعَدَّلُ تِلْقائيًّا في المُخِّ. وتَرى كُلٌّ مِنَ العَيْنَيْنِ مَنْظَرًا مُخْتَلِفًا قَليلًا لِلجِسْمِ وهذا هُوَ سَبَبُ رُؤْيَتِنا **المُجَسَّمَةِ** للأشياء. فالكائنُ الأسْطوريُّ ذو العَينِ الواحِدَةِ في وَسَطِ الجَبينِ ما كانَ لِيَرى الأشياءَ إلَّا مُفَلْطَحَةً **ثُنائيَّةَ الأبعادِ** كَما تُصَوِّرُها الكاميرا (آلة التَّصوير) الأُحادِيَّةُ العَدَسَةِ.

والإبْصارُ الثُّنائيُّ بِعَيْنَيْنِ يُساعِدُنا في تَقْديرِ مَوْقِعِ الأشياءِ وبُعْدِها بِدِقَّةٍ. ولَو أغْمَضْتَ عَيْنًا ووَضَعْتَ إصْبَعَكَ عَمودِيًّا مُتَسامِتَةً مع جِسْمٍ طَويلٍ رَفيعٍ كالمِسْطَرَةِ على بُعْدٍ قَليلٍ مِنْكَ، فسَتَجِدُ عِنْدَ فَتْحِ تلكَ العَيْنِ وإغماضِ الأُخرى أنَّ المِسْطَرَةَ لم تَعُدْ في خَطٍّ مُتَسامِتٍ معَ إصْبَعِكَ.

يتألَّفُ الفيلمُ السِّينمائيُّ مِنْ سِلْسِلَةٍ طَويلَةٍ من الصُّوَرِ المُتَدَرِّجَةِ الاخْتِلافِ بِحَيْثُ يَبْقَى تأثيرُ الصُّورَةِ السَّالِفَةِ ماثِلًا لِلْعَيْنِ عِنْدَ عَرْضِ الصُّورَةِ التَّالِيَةِ. ويتوالى عَرْضُ الصُّوَرِ في السِّينَما عادَةً بسُرعةِ **٢٤ إطارًا** في الثانية، بَيْنَما لا تَستَطيعُ العَيْنُ رُؤيَةَ الصُّورَتَيْنِ مُنْفَصِلَتَيْنِ إذا نقَصَ الفاصِلُ الزَّمَنيُّ بَيْنَهُما عَن $\frac{1}{13}$ من الثانية. وبِتَغَيُّرِ أوضاعِ الجِسْمِ في الصُّوَرِ المُتَتالِيَةِ يَتراءى لنا أنَّهُ يَتَحَرَّكُ.

والمُخُّ يُعطينا صُورَةً عنِ العالَمِ الخارجيِّ كما يَرْتَسِمُ على شَبَكيَّتَيِ العَيْنَيْنِ. وفي بَعضِ الأحيانِ يُضَلَّلُ المُخُّ فيُفَسِّرُ المَعلوماتِ بشَكلٍ خاطِئٍ ويُعرَف هٰذا **بِخِداعِ البَصَرِ**. فقَدْ تَبْدو الخُطوطُ المُسْتَقيمةُ مُقَوَّسَةً، والخَطَّانِ المُتَساوِيانِ مُخْتَلِفَيِ الطُّولِ لأنَّ الخُطوطَ المُحيطةَ تُضَلِّلُ العَيْنَ وتَخْدَعُ النَّظَرَ.

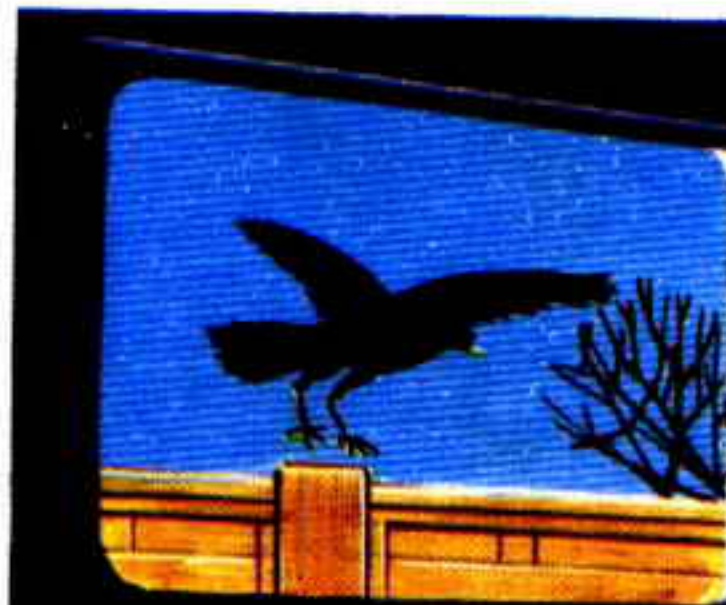
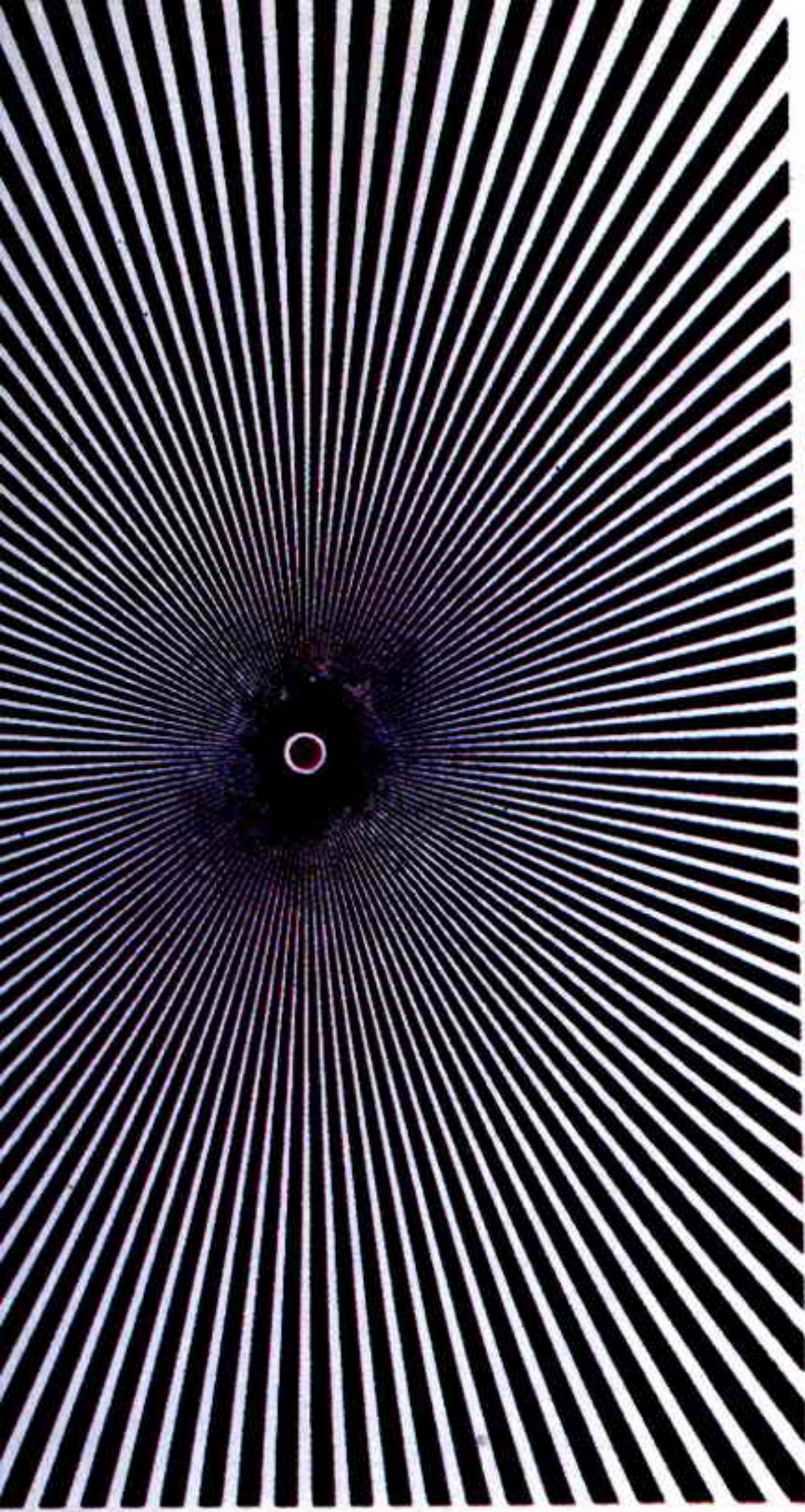
وكَثيرًا ما يُوهِمُنا البَصَرُ بإحساسِ الحَرَكَة. فالرُّكَّابُ الجالِسُونَ في قِطارَيْنِ على وَشْكِ الانْطِلاقِ منَ المَحطَّةِ يُحِسُّ الفَريقُ مِنْهُم أنَّ قِطارَهُ يتحَرَّكُ إذا تحَرَّكَتْ عَرَباتُ القِطارِ الآخَر. فتَوَقُّعُ الحَرَكَةِ وحَرَكَةُ القِطارِ الآخَرِ يُوهِمانِ رُكّابَ القِطارِ المُستَقِرِّ بأنَّهُ بَدأَ يَنْطَلِقُ!

الشكل ١

الشكل ٢

الشكل ٣

الشكل ٤

فَوقُ

ٱلرَّسْمُ ٱلمَنْظُورِيُّ. كُلَّما ٱبتَعدَ ٱلجِسْمُ يَبْدُو أَصْغَرَ حَجْمًا، وهذا ٱلمَبْدأُ يَنْطَبِقُ على ٱلخطَّيْنِ ٱلمُتوازِيَيْنِ (أو على خَطَّيْ سِكَّةِ حَديد) فَيَبْدُو أَنَّهُما يَتَقارَبانِ كُلَّما ٱبتَعدا عَنِ ٱلنَّاظِر.

أَقصَى ٱليَسارِ

خِداعُ ٱلبَصَر في ٱلحَرَكَة. إذا حَدَّقْتَ في مَرْكزِ الصُّورة تَبدو لكَ ٱلخُطوطُ مُتحرِّكَةً بِشَكْلٍ مُثِيرٍ وقَد تَرى ٱلألوانَ تَتحرَّكُ بَعيدًا عن ٱلمَركزِ. وإذا نَظرتَ فَجأةً إلى جدارٍ أَبيَضَ بَعْدَ تَحديقٍ طويلٍ في الصُّورةِ فستَستمرُّ في مُشاهدةِ حَرَكَةِ ٱلخُطوطِ بِضْعَ ثَوانٍ.

إلى ٱليسارِ

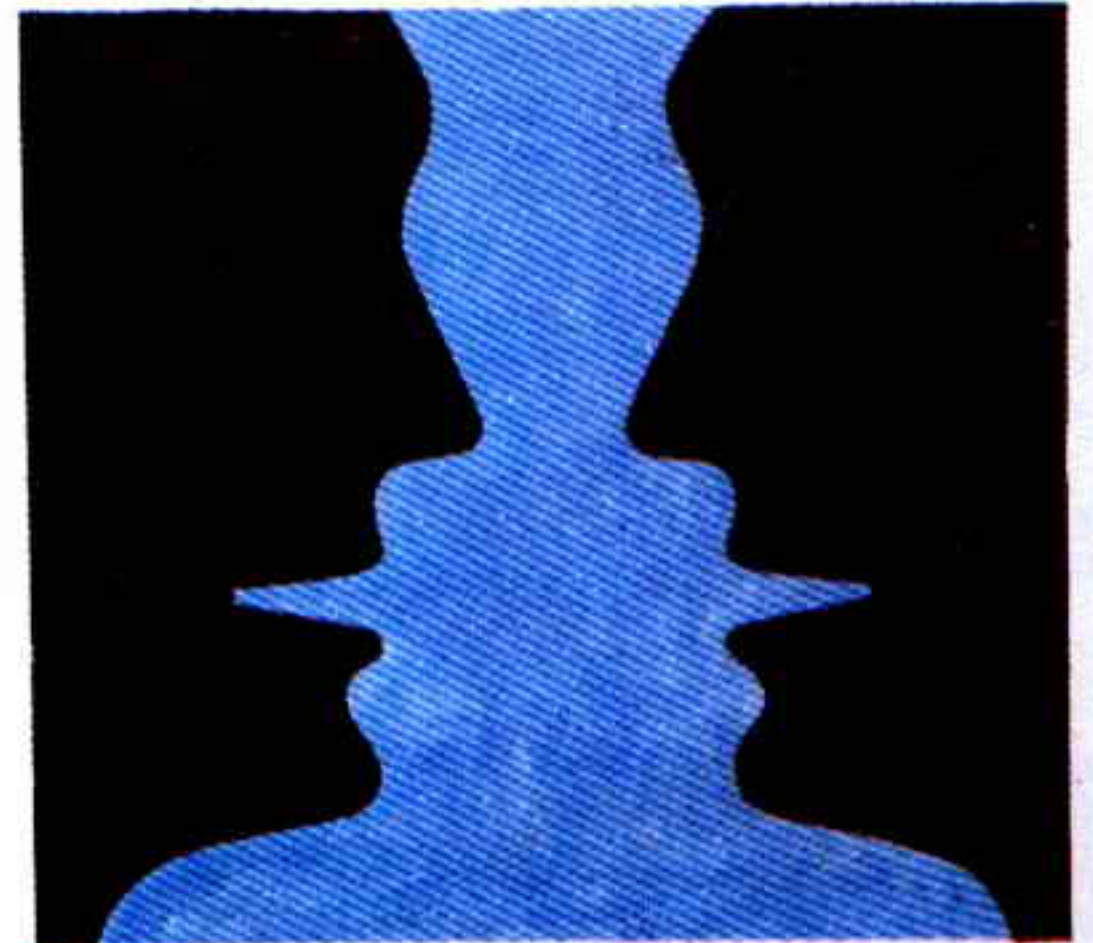
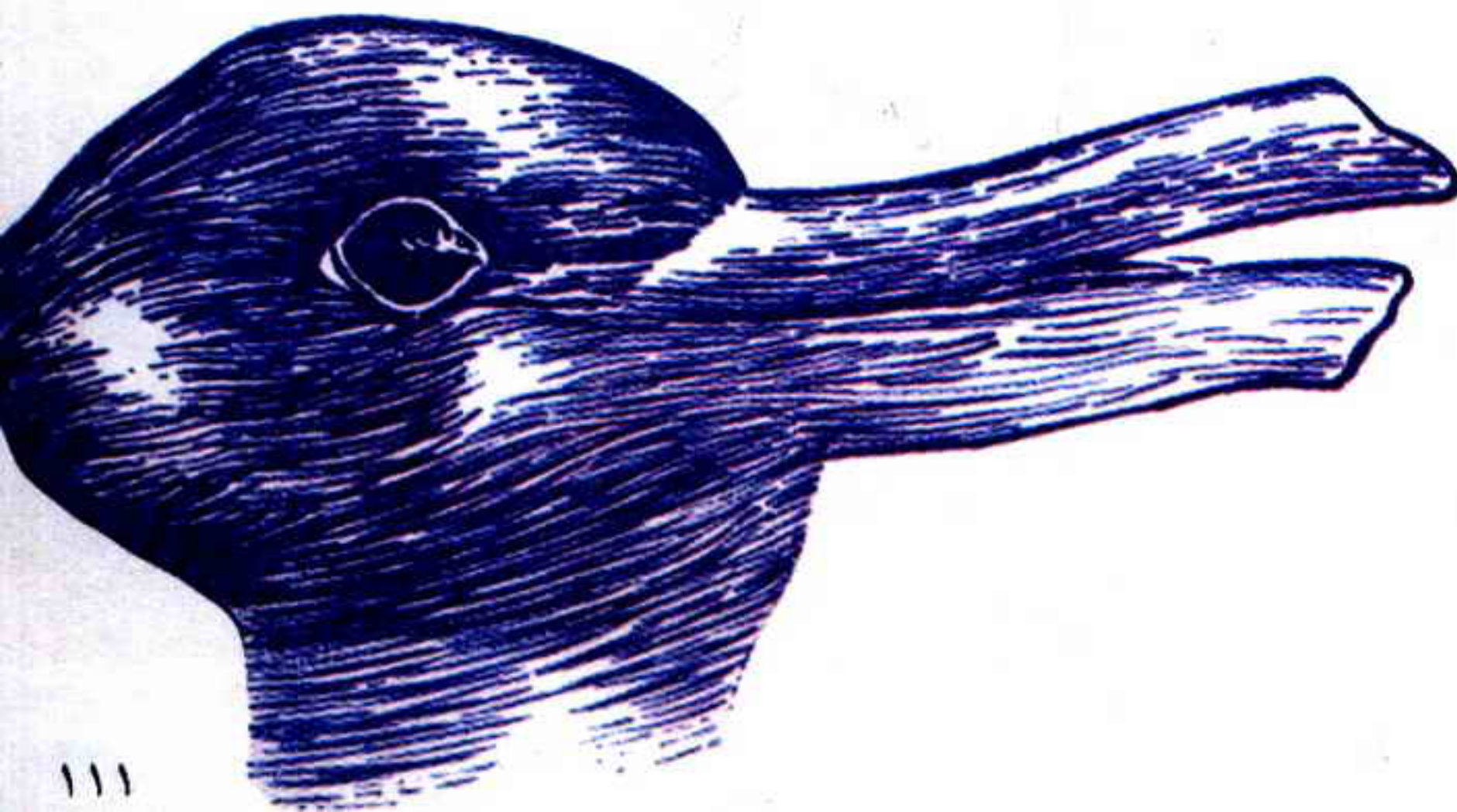
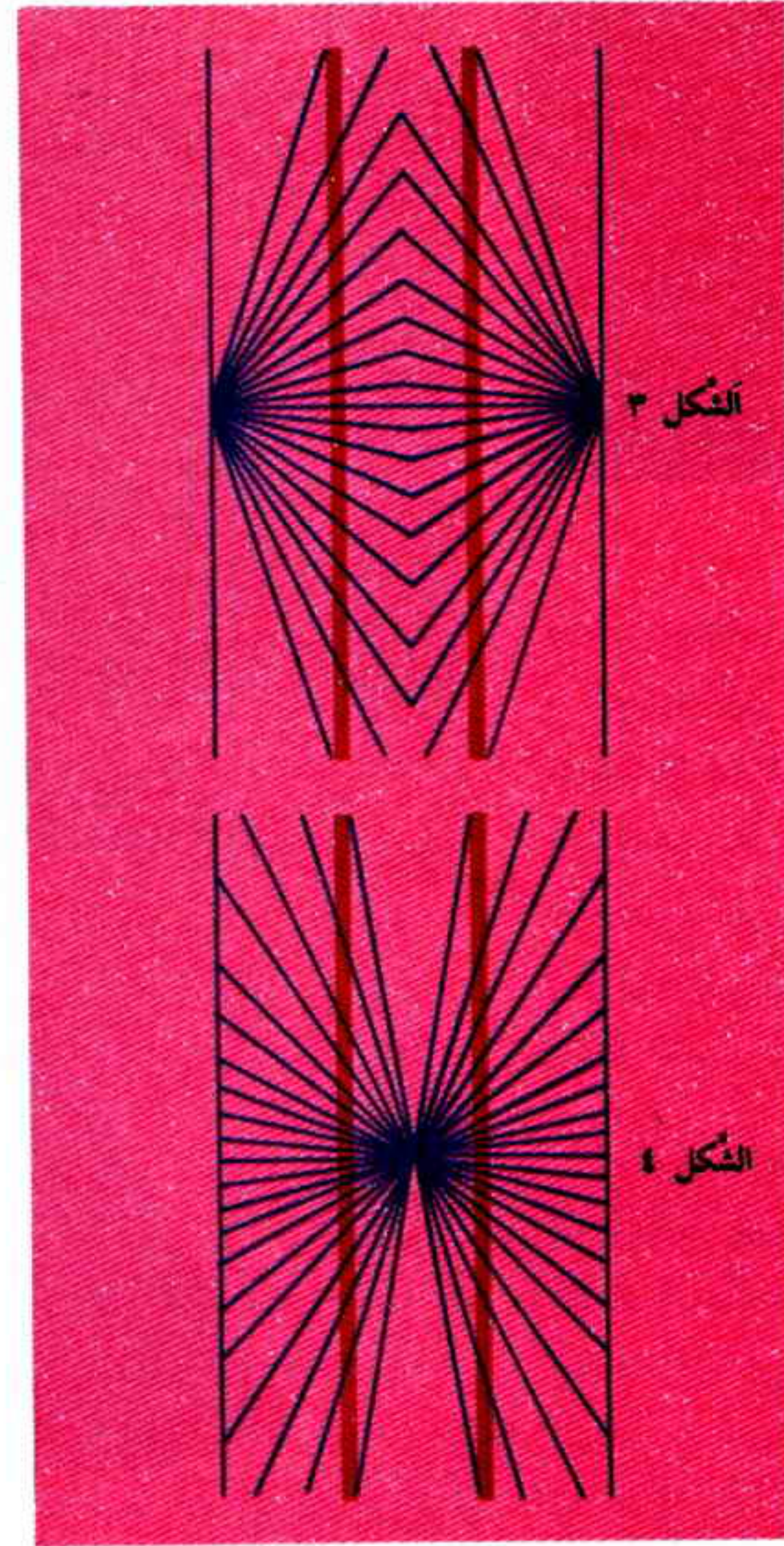
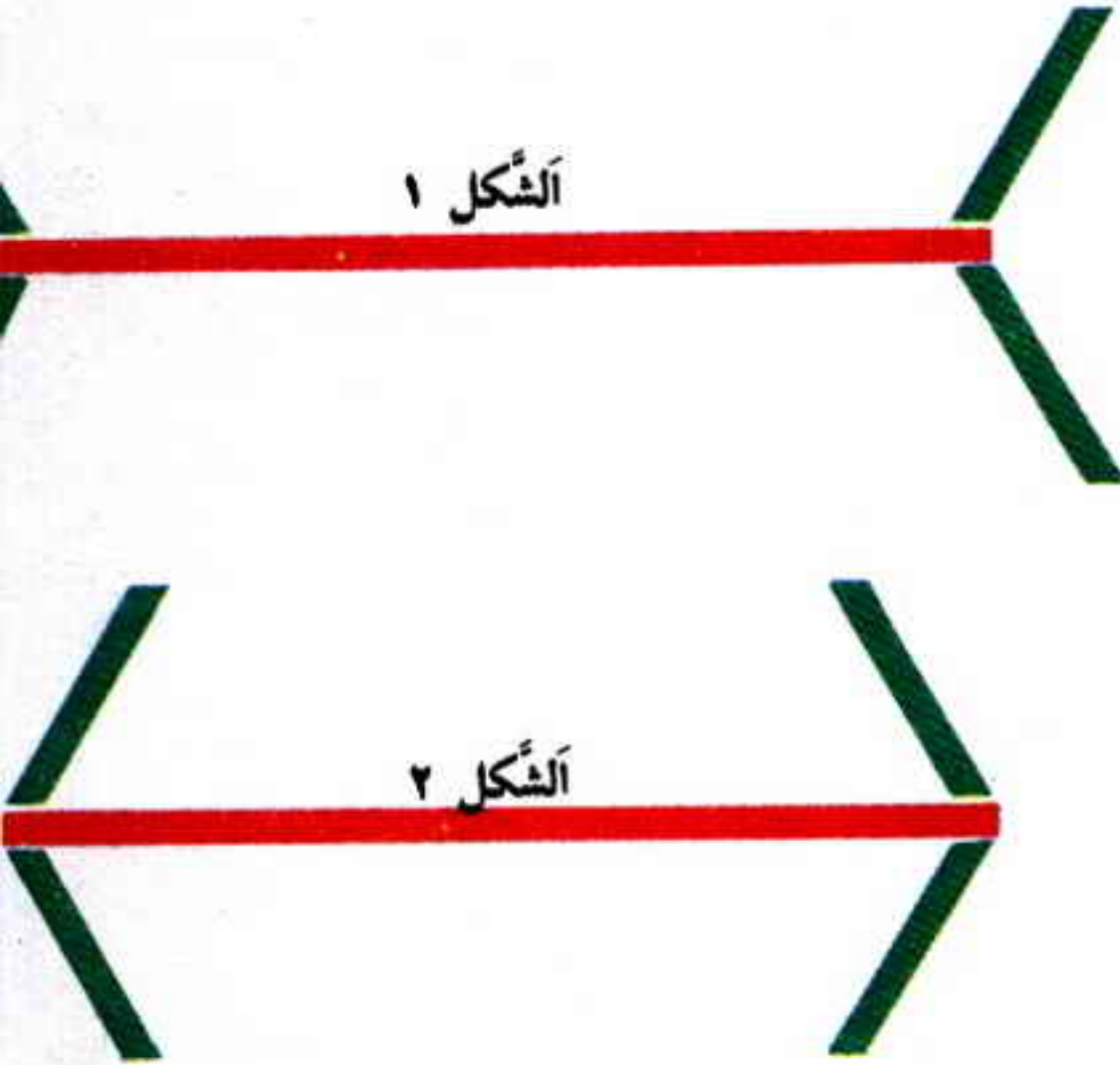
خِداع ٱلبَصَر. في ٱلشَّكْلَيْنِ ١ و ٢ يَبْدُو ٱلخَطَّانِ ٱلأحمَرانِ مُخْتَلِفَيِ ٱلطُّولِ بتأثيرِ ٱلزَّوايا التي تَرسُمها ٱلخُطوطُ ٱلخُضْرُ في أطرافِها. وٱلخَطَّانِ في ٱلحقيقةِ مُتساويا ٱلطُّولِ تَمامًا.

وفي ٱلشَّكْلينِ ٣ و ٤ يَبْدُو ٱلخَطَّانِ ٱلأحمرانِ مُقَوَّسينِ إلى ٱلدَّاخِلِ مَرَّةً وإلى ٱلخارجِ أُخْرى وهُما في ٱلحالَتَيْنِ مُسْتَقيمانِ تَمامًا.

إلى أسفَلُ

يُمكنُ رُؤيَةُ هذه ٱلصُّورةِبِطَرِيقَتَيْن. فإذا حَدَّقْتَ فيها جَيِّدًا ترى أَوَّلًا شَمْعَدانًا أَزْرَقَ ثُمَّ فَجأةً تُلاحِظُ أَنَّكَ تَرى وَجْهَيْنِ مُتَقابِلَيْن، لكِنَّكَ لَنْ تَرى ٱلشَّمْعَدانَ والوَجْهَيْنِ في آنٍ مَعًا!

إلى الأسفلِ يَسارًا

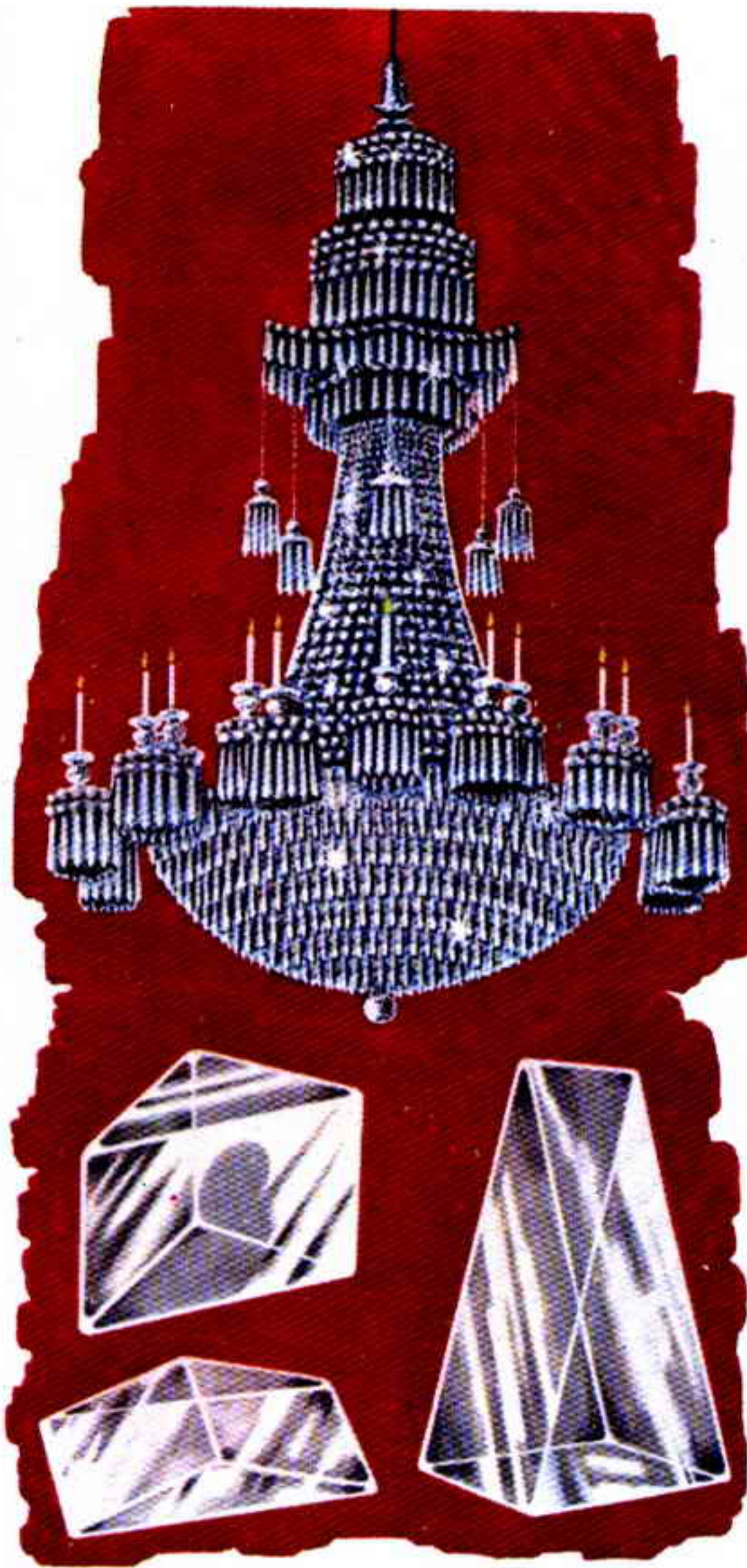
هَلْ هٰذِهِ صورَةُ بَطَّةٍ طَويلَةِ ٱلمِنْقارِ؟ أَمْ هيَ صورَةُ أَرْنَبٍ ٱمْتَدَّتْ أُذُناه إلى خَلْفِ رَأْسِهِ؟

أقصى اليسار

تجربة نيوتن المشهورة في تحليل الضوء. أجرى نيوتن هذه التجربة أول مرة عام ١٦٦٦ وكان حينئذ في الثالثة والعشرين من عمره. وقد أعاد نيوتن هذه التجربة فيما بعد مستخدمًا موشورين: واحدًا لتحليل الضوء وآخر معكوسًا لإعادة تركيبه. وقد برهنت هذه التجربة بصورة قاطعة أن الضوء الأبيض هو مزيج من ألوان متعددة.

إلى اليسار

ثريا (نجفة) بلورية ثمينة وجميلة. إنها مصنوعة من مئات القطع الزجاجية التي تحلل الضوء الأبيض المنبعث من مصابيحها الكهربائية فتزيدها تألقًا وجمالًا.

إلى اليسار

تستخدم الموشورات الزجاجية في الآلات البصرية كمنظار الميدان والمنفاق (البريسكوب). وقد استخدم نيوتن موشورًا لتحليل الضوء إلى ألوان الطيف، ثم اعترض حزمة الطيف بموشور مقلوب (بالنسبة إلى الموشور الأول) فأعاد تركيب ألوان الطيف إلى الضوء الأبيض.

الطَّيْفُ

إذا نَظَرْتَ إلى ثُرَيّا (أو نَجفَةٍ) بِلَوريَّةٍ أو إلى حَجَرٍ كَريمٍ كالألْماسِ المَصْقولِ تُشاهِدُ ألْوانًا مُتَعَدِّدَةً، بالرَّغْمِ مِنْ أنَّ الضَّوءَ السّاقِطَ على النَّجفَةِ أو الجَوْهَرَةِ هُوَ ضَوءٌ أبيَضُ. والسَّبَبُ في ذلِكَ هُوَ أنَّ الزُّجاجَ المَوْشُورِيَّ القَطِعِ، أو حَتّى نُقطَةَ الماءِ، تَسْتَطيعُ تَحليلَ الضَّوءِ الأبْيَضِ إلى الألوانِ المُتعدِّدَةِ الّتي يتألَّفُ مِنها. وهذهِ الألوانُ تُؤلِّفُ نَمطًا قَوسَ قُزَحِيٍّ يُسَمَّى **الطَّيْفَ الضَّوئيَّ**.

وقَد قامَ العالِمُ المَشْهُورُ إسْحٰقُ نيُوتُن في القَرْنِ السّابعَ عَشَرَ بعِدَّةِ تَجارِبَ بَيَّنَ فيها لأوَّلِ مَرَّةٍ أنَّ بالإمْكانِ تَحليلَ الضَّوءِ إلى ألْوانٍ مُخْتَلِفَةٍ. وفي إحدى تَجارِبِهِ أغْلَقَ نيُوتُنُ كُلَّ نَوافِذِ غُرْفَتِهِ لِيُعَتِّمَها ثُمَّ أحْدَثَ ثَقْبًا في مِصراعِ نافِذَةٍ لِتَعْبُرَ مِنْهُ حُزْمَةٌ من أشِعَّةِ الشَّمْسِ. وعِنْدَما اعتَرَضَ نيُوتُن الحُزْمَةَ الضَّوئيَّةَ بمَوْشُورٍ زُجاجِيٍّ (مُثَلَّثِيِّ الوَجْهَيْنِ) لِتَنفُذَ مِنْهُ الأشِعَّةُ إلى سِتارَةٍ، لاحَظَ أنَّ الحُزْمَةَ الضَّوئيَّةَ تَحَلَّلَتْ إلى أشْرِطَةٍ مُلَوَّنَةٍ من الأحْمَرِ والبُرتقاليِّ والأصْفَرِ والأخْضَرِ والأزْرَقِ والنِّيلِيِّ والبَنَفْسَجيِّ. وعَرَفَ نيُوتُن لِتَوِّهِ أنَّ المَوْشُورَ حَلَّلَ الضَّوْءَ الأبيَضَ إلى هٰذه الألوانِ المَعروفَةِ بألوانِ الطَّيفِ.

والضَّوءُ الأبيضُ العادِيُّ، أكانَ مَصْدَرُه الشَّمسَ أو مِصباحًا كهربائيًّا، يتألَّفُ في الحقيقَةِ مِن آلافِ الألوانِ المُتَدَرِّجَةِ القليلَةِ التَّبايُنِ والّتي تَنْدَرِجُ في سَبْعِ نِطاقاتٍ لَوْنِيَّة هيَ ألوانُ قوسِ قُزَحَ المَذكورةُ أعلاه.

هُنالِكَ عِدَّةُ أمْثِلَةٍ على ظاهِرَةِ الطَّيفِ في حَياتِنا اليَوميَّة أبْرَزُها قَوْسُ قُزَحَ الّذي يتَسَبَّبُ مِن أشِعَّةِ الشَّمسِ السّاطِعَةِ عَبْرَ آلافِ قُطَيْراتِ الماءِ في جَوٍّ مَطيرٍ أو عَبْرَ قُطَيْراتِ التَّرْشاشِ حَوْلَ شَلّالٍ مُتَدفِّقٍ. ويَخْتَلِفُ الطَّيْفُ الضَّوئيُّ باخْتِلافِ نَوْعِ الضَّوءِ المُنْحَلِّ. حاوِلْ أن تُلاحِظَ الفَرْقَ بَيْنَ ضَوْءِ المِصْباحِ الكَهرَبائيِّ العادِيِّ والضَّوءِ المُتَفَلْوِرِ (الفلُورسَنْت) ونُورِ مِصباحِ الصُّودْيُوم (الّذي تُنارُ بِه الشَّوارِعُ أحْيانًا) وذلِكَ بمُراقَبَةِ ضَوْئِها عَبْرَ مَوشورٍ أو قِطعةٍ زُجاجيَّةٍ مُماثِلَةٍ. إنَّ ضوءَ الصُّوديومِ يَكادُ لا يَنْحَلُّ مُطلَقًا لأنَّهُ يتألَّفُ في غالِبيتِهِ العُظمى من النُّورِ الأصْفَرِ الخالِص.

كَذٰلِكَ فإنَّ بٱستِطاعَةِ مَجْموعَةٍ من ٱلحُزُوزِ ٱلدَّقيقةِ المُتلاَزَّةِ أن تُكَوِّنَ طَيفًا. ولهذا تَرى طَيفًا على سَطْحِ ٱلأُسطوانَةِ إذا نَظَرْتَ إلَيْها جانِبيًّا، وكَذٰلِكَ إذا نَظَرْتَ عَبْرَ شَعْرِكَ أو رُمُوشِ عَيْنَيْكَ إلى ضَوءٍ ساطِعٍ. وَٱلأَغْشِيةُ ٱلرَّقِيقَةُ قادِرَةٌ أَيْضًا على تَحليلِ ٱلضَّوءِ ٱلأبيَضِ، وهذا ما يَجْعَلُ ٱلغِشاءَ ٱلزَّيتيَّ ٱلرَّقيقَ على سَطْحِ ٱلبِرَكِ ٱلصَّغيرَةِ مُتَعَدِّدَ ٱلأَلْوانِ. وَتَبْدُو فَقاقيعُ ٱلصَّابُونِ مُلَوَّنَةَ ٱلغِشاءِ لِلسَّبَبِ نَفْسِهِ.

ولٱختِبارِ حَقيقةِ أَنَّ ٱلضَّوءَ ٱلأبْيَضَ مُرَكَّبٌ مِن أَضواءٍ مُختَلِفَةِ ٱلتَّلَوُّنِ يُمكِنُكَ إجْراءُ ٱلتَّجربَةِ ٱلسَّهْلَةِ ٱلتالِيَةِ. أُنْقُلْ صُورةَ ٱلقُرصِ ٱلمُلَوَّنِ إلى ٱليَسارِ على قُرصٍ من ٱلوَرَقِ ٱلمُقَوَّى وٱطْلِهِ بِٱلأَلْوانِ ٱلمُبَيَّنَةِ وبِٱلنِّسَبِ ذاتِها. دَوِّمْ هٰذا ٱلقُرْصَ بِسُرعَةٍ ولاحِظْ أَنَّ ٱلألوانَ تَنْدَمِجُ فَيَبْدُو ٱلقُرصُ أَبْيَضَ رَمادِيًّا!

إنَّ دَورانَ ٱلقُرصِ بِسُرعَةٍ لا يُعطي ٱلعَيْنَ فُرصَةً لِرُؤْيَةِ كُلِّ لَوْنٍ على حِدَةٍ، لِذا تَرى ٱلعَيْنُ أَلْوانَ ٱلقُرْصِ مُمتَزِجَةً معًا. وهكَذا فإنَّكَ عِنْدَما تَنْظُرُ إلى ٱلضَّوءِ ٱلأبْيَضِ فأنْتَ في ٱلحَقيقَةِ تَرى أَلْوانَ ٱلطَّيفِ كُلَّها مُجْتَمِعَةً، ولكِنَّ عَيْنَكَ لا تَستطيعُ تَمييزَ هٰذهِ ٱلأَلْوانِ ما لَمْ يَمُرَّ ٱلضَّوءُ عبْرَ مادَّةٍ أو جِسْمٍ يُحَلِّلُهُ.

فَوقُ

هٰذه بَعضُ أَمْثِلَةِ ٱلطُّيوفِ ٱلَّتي نَراها في حياتِنا ٱليَوميَّةِ، وتَشْملُ فَقاقيعَ ٱلصَّابونِ وأَغْشِيَةَ ٱلزَّيتِ ٱلرَّقيقَةَ على سَطْحِ ٱلماءِ وقَوسَ ٱلقُزَحِ. إنَّكَ تُشاهِدُ قَوسَ قُزَحٍ فوقَ أيِّ شَلَّالٍ مُتَدفِّقٍ، حينَ تَكُونُ ٱلشَّمسُ مِنْ خَلْفِكَ، لِأَنَّ قُطَيْراتِ ٱلرَّذاذِ المُتناثِرَةَ في جَوِّ ٱلشَّلَّالِ تُحَلِّلُ ضَوءَ الشَّمسِ إلى أَلوانِهِ ٱلمُخْتَلِفَةِ.

إلى اليمين

أُنْقُلْ هٰذهِ ٱلدَّائرة بِدِقَّةٍ وعِنايَةٍ على قُرْصٍ مِنَ ٱلوَرقِ ٱلأَبْيَضِ ٱلمُقَوَّى (ٱلكَرتُون)، وٱطْلِ أَجزاءَ ٱلقُرْصِ بِٱلأَلْوانِ ٱلمُبَيَّنَةِ وبٱلتَّرتيبِ ذاتِهِ، ثُمَّ ٱثْقُبِ ٱلقُرْصَ في مَرْكَزِهِ. يُمكِنُكَ ٱلآنَ تَدْويمُ ٱلقُرْصِ بإدْخالِ قَلَمِ رَصاصٍ قَصيرٍ في ٱلثَّقْبِ وَبَرْمِهِ كَٱلدُّوَّامَةِ ٱللُّعْبَةِ (ٱلخُذْرُوف) - أو يُمكِنُكَ تَدْويرُ ٱلقُرْصِ بِوَضْعِهِ فَوقَ مِنَصَّةِ ٱلفُونُوغراف ٱلدَّوَّارَةِ. إن دَوَرانَ ٱلقُرْصِ بِسُرعَةٍ يَجْعَلُ أَلْوانَهُ تَنْدَمِجُ مَعًا فَتَبْدُو بَيضاءَ، شَرْطَ أَنْ تَكُونَ قَدِ ٱختَرْتَ ٱلأَلْوانَ ٱلصَّحيحَةَ!

اَلْأَلْوانُ اَلْأَوَّلِيَّةُ

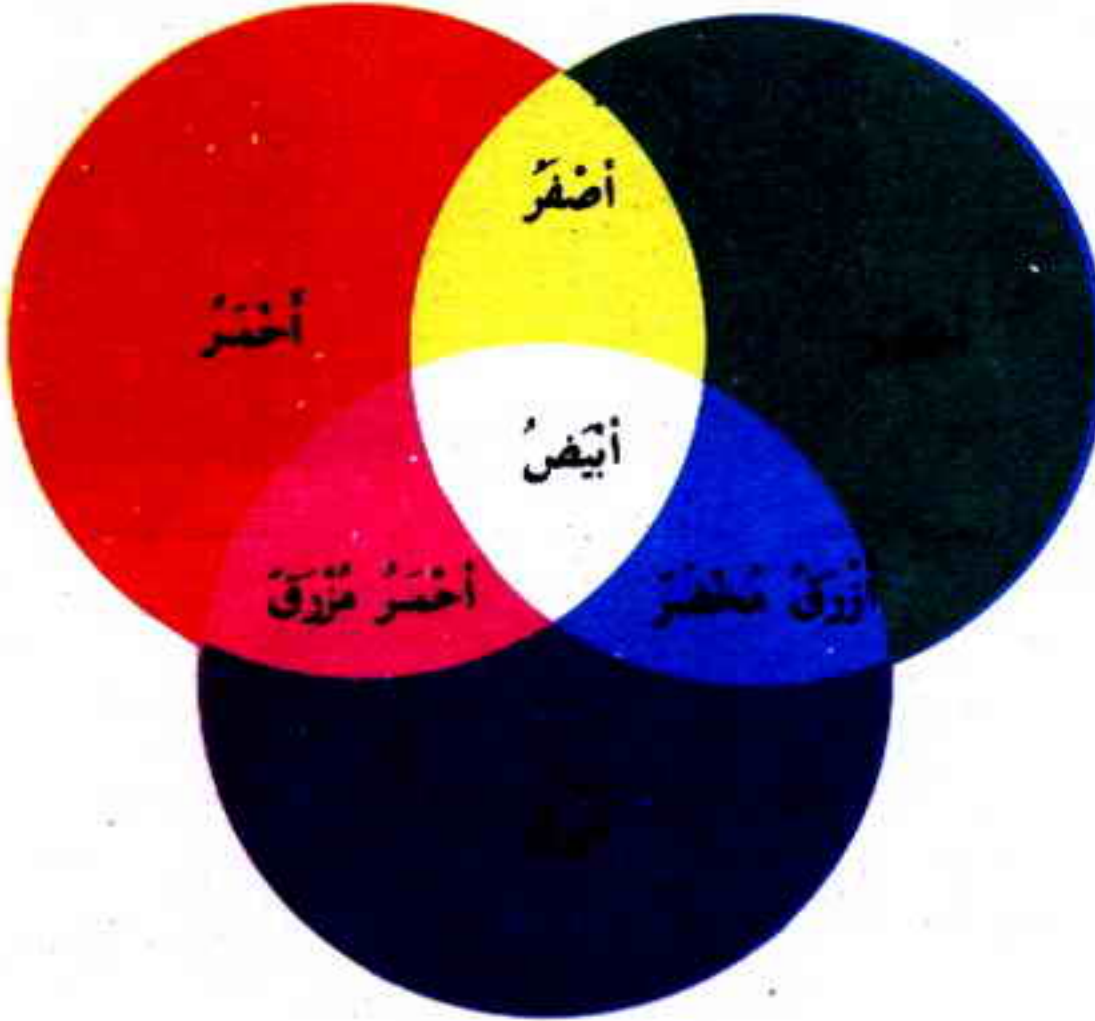
نُورُ اَلشَّمْسِ أَو اَلنُّورُ من مِصباحٍ كَهْرَبائِيٍّ هُوَ ضَوءٌ أَبيَضُ، وهُوَ في اَلحَقِيقَةِ مَزِيجٌ مِنْ أَلْوانٍ مُخْتَلِفَةٍ. ونَحْنُ لا نَسْتَطِيعُ رُؤْيَةَ هٰذِهِ اَلأَلْوانِ في اَلضَّوءِ اَلأَبْيَضِ لِأَنَّ اَلعَيْنَ لا تَقْدِرُ على تَحليلِ اَلضَّوءِ اَلأَبْيَضِ إلى مُقَوِّماتِهِ اَللَّوْنِيَّةِ. لكِنْ بِالإمكانِ تَحْليلُ اَلضَّوءِ إلى مُقَوِّماتِهِ بواسِطَةِ قُطَيْراتِ اَلماءِ أو شَقَفِ اَلزجاجِ. وفي قَوْسِ اَلقُزَحِ نَرى مَجْمُوعاتِ أَلوانٍ من اَلأَحْمَرِ وَاَلبُرتُقالِيِّ واَلأَصْفَرِ واَلأَخْضَرِ واَلأَزْرَقِ واَلنِّيلِيِّ وَاَلبَنَفسَجِيِّ اَلَّتِي يَتأَلَّفُ مِنْها اَلضَّوءُ. وَهٰذِهِ اَلأَلوانُ إذا مُزِجَتْ بِاَلنِّسَبِ اَلصَّحيحَةِ تُنتِجُ ضَوءًا أَبْيَضَ.

ولَيْسَ مِنَ اَلضَّرورِيِّ اَستِخدامُ كُلِّ هذه اَلأَلوانِ لِتَكوينِ اَلضَّوءِ اَلأَبيَضِ، إِذْ تَكْفِي ثَلاثَةٌ مِنها لِهٰذا اَلغَرَضِ هِيَ اَلأَحْمَرُ واَلأَخْضَرُ واَلأَزْرَقُ، وتُعْرَفُ هٰذِهِ **بِاَلأَلْوانِ اَلأَوَّلِيَّةِ**. إنَّ مَزْجَ هذِهِ اَلأَلوانِ اَلضوئِيَّةِ بِاَلنِّسَبِ اَلصَّحيحَةِ يُعطِي ضَوءًا أَبْيَضَ، وإذا اَختَلَفَتِ اَلنِّسَبُ نَحصُلُ على ضَوءٍ من لَوْنٍ مُخْتَلِفٍ. واَلجَديرُ بِاَلذِّكْرِ أَنَّهُ يُمكِنُ تَركِيبُ أَيِّ لَوْنٍ بِمَزْجِ هٰذِهِ اَلأَضْواءِ اَللَّوْنِيَّةِ اَلثلاثَةِ بِاَلنِّسَبِ اَلمُحَدَّدَةِ. واَلمَعْروفُ أَنَّ اَلأَلوانَ اَلأَوَّلِيَّةَ لِمَزْجِ اَلدِّهاناتِ مُغايِرَةٌ لِلأَلْوانِ اَلأَوَّلِيَّةِ لِمَزْجِ اَلأَضواءِ، كَما إنَّ عَمَلِيَّةَ مَزْجِ اَلدِّهاناتِ تَنْطَوِي على مَبْدَإٍ مُخْتَلِفٍ (أُنظُرْ صَفحة ١١٩).

ولَعَلَّكَ شاهَدْتَ مَزْجَ اَلأَضواءِ اَلكَشَّافَةِ اَلمُلَوَّنَةِ على اَلمَسْرَحِ. إنَّ بُقْعَتَي اَلضَّوءِ المُلَوَّنَتَيْنِ تُنتِجانِ بُقعَةً ثالِثَةً مِنْ لَوْنٍ مُخْتَلِفٍ في اَلدائِرَةِ اَلَّتي تَتَقاطَعُ فِيها حُزْمَتا اَلضَّوءِ اَلمُلَوَّنتان على اَلمَسْرَحِ. وبِإمكانِكَ إجْراءُ اَختِباراتٍ عَمَلِيَّةٍ في اَلبَيْتِ مُسْتَخْدِمًا ثَلاثَةَ مَصابيحِ جَيْبٍ كَهْرَبائِيَّةٍ كَمَصادِرَ لِلأَضْواءِ اَلمُلَوَّنَةِ. ولِتَحْصُلَ على أَفْضَلِ اَلنَّتائِجِ عَتِّمِ اَلغُرفَةَ وضَيِّقْ حُزَمَ اَلضَّوءِ اَلصَّادِرَةَ مِنَ اَلمَصابيحِ. ولِتَلْوِينِ نُورِ اَلمصابيحِ غَطِّ زُجاجاتِها بِوَرَقِ اَلسُّلُوفانِ اَلمُلَوَّنِ أو بِاَلوَرَقِ اَلمُلَوَّنِ اَلشفَّافِ فَوْقَ اَلغِطاءِ بِشَريطٍ مَطَّاطِيٍّ حَوْلَهُ.

إنَّ عَمَلِيَّةَ مَزْجِ لَوْنَيْنِ مِنَ اَلأَلوانِ اَلأَوَّلِيَّةِ اَلثَّلاثَةِ هِيَ عَمَلِيَّةٌ مُمتِعَةٌ ومُسَلِّيَةٌ. فَمَزْجُ اَلضَّوءِ اَلأَحْمَرِ مَعَ اَلضَّوءِ اَلأَزْرَقِ يُعطِيكَ لَونًا **أَحْمَرَ أُرْجُوانِيًّا** زاهِيًا ومَزْجُ اَلأَزْرَقِ واَلأَحْمَرِ يُعْطِي لَوْنًا **أَزْرَقَ مُخْضَرًّا**، واَلنتيجَةُ اَلأَغْرَبُ هِيَ في مَزْجِ اَلضَّوءَيْنِ اَلأَحْمَرِ والأَخْضَرِ حَيْثُ نَحصُلُ على ضَوْءٍ أَصْفَرَ.

إلى اَليسارِ

بِإمكانِكَ اَلتَدَرُّبُ على مَزْجِ اَلأَنْوارِ اَلمُلَوَّنَةِ في غُرْفَةٍ مُعْتِمَةٍ، مُسْتَخْدِمًا مَصابيحَ جَيْبٍ كَهْرَبائِيَّةً وورقَ سِلُوفانٍ مُلَوَّنًا. اِجْعَلِ اَلحُزَمَ اَلضوئِيَّةَ تَتَقاطَعُ على صَفْحَةِ وَرَقٍ بَيْضاءَ.

إلى اَليسارِ

هٰذِهِ هِيَ اَلأَلوانُ اَلَّتِي تُشاهِدُها إذا مَزَجْتَ أَنوارًا من اَلضَّوءِ اَلأَحْمَرِ وَاَلأَخضَرِ وَاَلأَزرَقِ بِاَلنِّسَبِ اَلصَّحيحَةِ. سَتَحْصُلُ على لَوْنٍ أَبيَضَ حَيْثُ تَلْتَقِي اَلأَنوارُ اَلثَّلاثَةُ، أَمَّا حَيْثُ يَلْتَقِي نُورانِ فإنَّ اَلضَّوءَ اَلنَّاتِجَ هُوَ اَللَّوْنُ اَلمُتَمِّمُ مَعَ اَللَّوْنِ اَلأَوَّلِيِّ اَلثَّالِثِ.

إلى اَليسارِ

يُمكِنُكَ اَلحُصولُ على هٰذِهِ اَلنَّتائِجِ بِمَزْجِ أَنوارٍ من اَلضَّوءِ اَلأَزرَقِ اَلمُخْضَرِّ واَلأَحْمَرِ اَلمُزْرَقِّ واَلأَصْفَرِ. فإذا اَلتَقَتِ اَلأَنوارُ الثلاثةُ في بُقْعَةٍ فإنَّ كُلًّا مِنَ الألوانِ اَلأَوَّلِيَةِ اَلأحمر وَاَلأَخضَرِ واَلأَزرَقِ يَكُونُ مُتَوافِرًا بِاَلنِّسبَةِ اَلصَّحيحَةِ فَيَتَكَوَّنُ اَلضَّوءُ اَلأَبْيَضُ. أَمَّا إذا اَلتَقَى ضَوْءانِ فَقَط كَاَلأَصْفَرِ واَلأَحْمَرِ اَلمُزْرَقِّ فَاَلأَنوارُ اَلمُتَوافِرَةُ كافِيَةٌ لِتَكوينِ اَلضَّوءِ اَلأَبْيَضِ، لكِنَّ اَلقَدْرَ اَلزَّائِدَ من اَلضَّوءِ اَلأَحْمَرِ يَجْعَلُ اَلنُّورَ يَبْدُو أَحمَرَ.

وبمزجِ ٱلأصفرِ وٱلأحمرِ ٱلأرجوانيِّ تحصُلُ على ضوءٍ أحمرَ، وبمزجِ ٱلأصفرِ وٱلأزرقِ ٱلمخضرِّ تحصُلُ على ضوءٍ أخضرَ وبمزجِ ٱلأحمرَ ٱلأرجوانيِّ وٱلأزرقِ ٱلمخضرِّ تحصُلُ على ضوءٍ أزرقَ. وإذا وجدْتَ ورقَ سِلُوفانٍ بهذهِ ٱلألوانِ لتغطيةِ مصابيحكَ فبإمكانكَ ٱلتحقُّق عمليًّا من هذهِ ٱلمعادلاتِ.

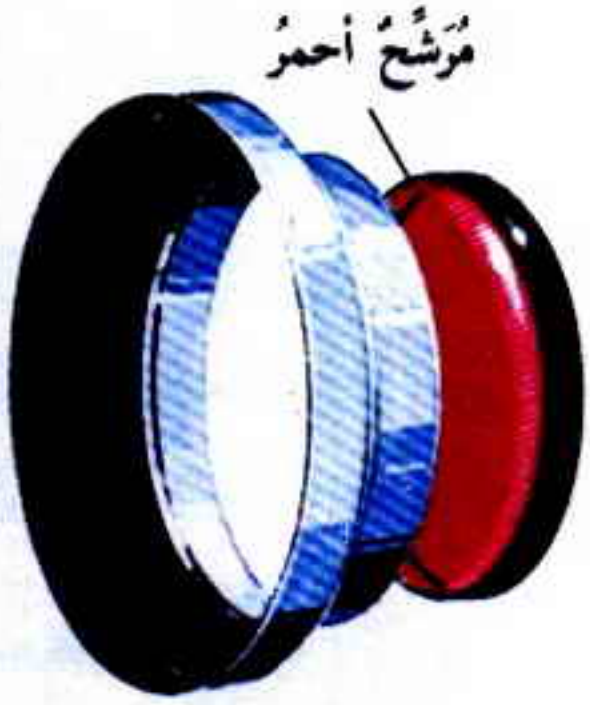
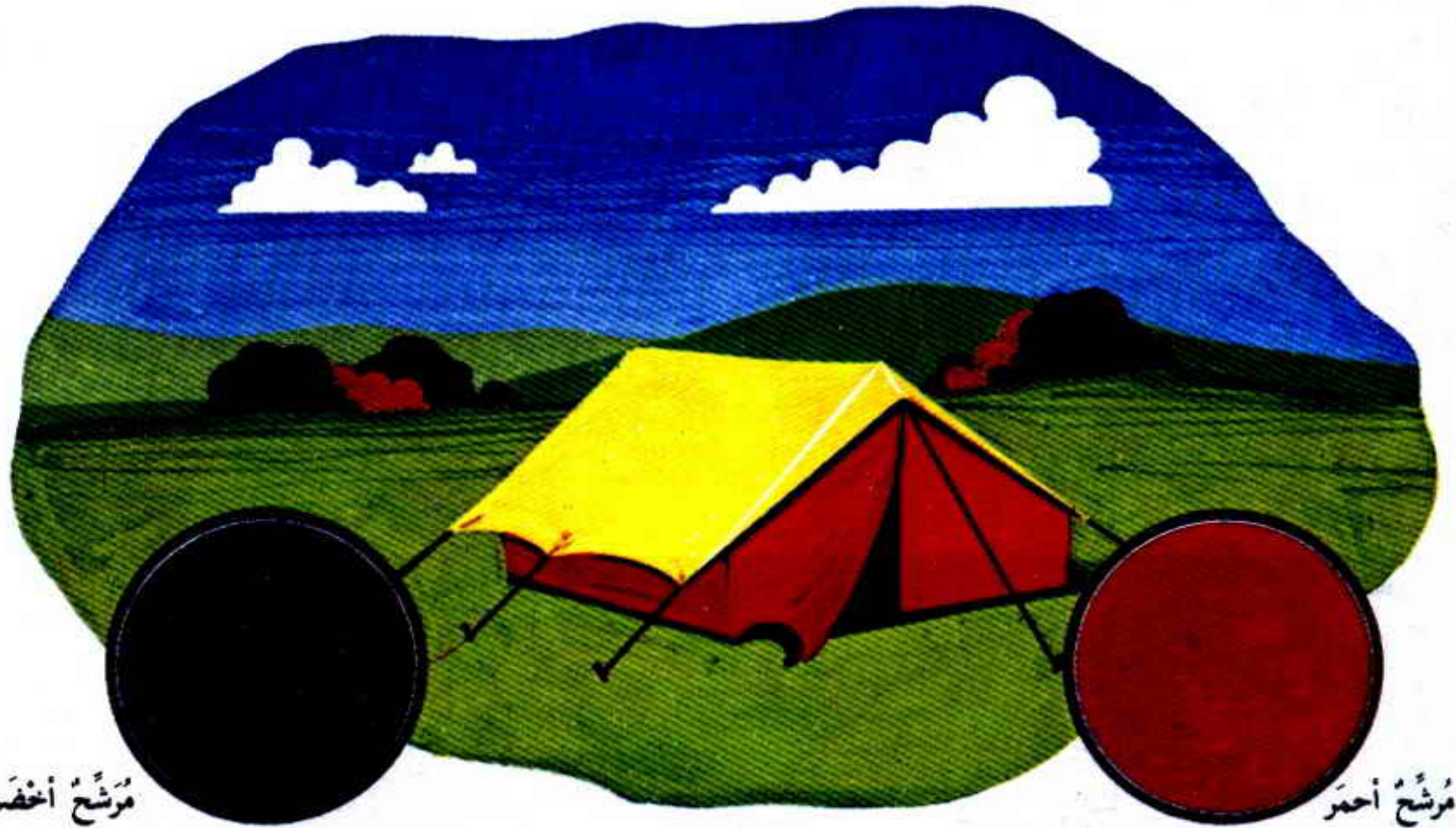
واللّونانِ اللّذانِ يُنتِجانِ بمزْجِها ضوءًا أبيَضَ يُسمَّيانِ **متتامّين**. فٱلضوءُ ٱلأصفرُ (ٱلذي هو مزيجٌ من ٱلضوءينِ ٱلأحمرِ وٱلأخضرِ) مُتتامٌّ معَ ٱلضوءِ ٱلأزرقِ لأنّهما معًا يُنتِجانِ ضوءًا أبيضَ. وكذلكَ فإنَّ ٱلأحمرَ ٱلأرجوانيّ مُتتامٌّ معَ ٱلأخضرِ وٱلأزرقَ ٱلمخضرَّ مُتتامٌّ معَ ٱلأحمرِ.

إنَّ مزجَ أضواءٍ من ٱلأحمرِ وٱلأخضرِ وٱلأزرقِ بٱلنِّسبِ ٱلصَّحيحةِ يُعطي لونًا أبيضَ. وكذلكَ فإنّ مزجَ ٱلأصفرِ وٱلأحمرِ ٱلأرجوانيّ وٱلأزرقِ ٱلمخضرِّ يُمكِنُ أنْ يُعطيَ ضوءًا أبيضَ، وعلى هٰذا ٱلأساسِ يُمكِنُ ٱعتبارُها أيضًا مجموعةً من ثلاثةِ ألوانٍ أوّليّةٍ.

يُمكننا إذًا ٱعتبارُ ٱلضّوءِ ٱلأبيضِ مُركّبًا من ٱلألوانِ ٱلأوّليّةِ ٱلثلاثةِ، كما أنّ بٱلإمكانِ تركيبَ أيِّ لونٍ بٱختيارِ ٱلنِّسبِ ٱلصَّحيحةِ من هذه ٱلألوانِ ٱلأوّليّةِ.

هذهِ ٱلحقائقُ هيَ أساسُ ٱلكثيرِ من ٱلظّواهرِ والعمليّاتِ **كإبصارِ** ٱلألوانِ **وٱلتّلفزةِ ٱلملوَّنةِ** (أنظرُ صفحة ١١٦). وفي أنظمةِ ٱلتّلفزةِ ٱلملوَّنةِ تُركّزُ أهميّةٌ خاصّةٌ على ٱستعادةِ ٱلألوانِ ٱلحقيقيّةِ في جهازِ ٱلاستقبال.

مُرشِّحٌ أحمرُ

فوقُ

تتألّفُ ٱلمرشّحاتُ ٱللّونيّةُ ٱلمستخدَمةُ في ٱلتّصويرِ ٱلفوتوغرافيِّ من قُرصٍ ملوَّنٍ من ٱلجيلاتين (أو ٱلزّجاج) داخلَ إطارٍ معدنيٍّ أو لدائنيٍّ. وتُثبَّتُ هذه ٱلمرشّحاتُ في ٱلكاميراتِ عادةً أمامَ عدسةِ ٱلتّصويرِ.

مُرشِّحٌ أخضر

مُرشِّحٌ أحمر

مُرشِّحٌ أصفر

إلى ٱليمين

تُستخدَمُ ٱلمرشّحاتُ ٱللّونيّةُ لتحويرِ لونِ ٱلضّوءِ قبلَ سقوطِهِ على ٱلفيلمِ. فٱلمرشّحُ ٱلأصفرُ يسمَحُ بمرورِ ٱلضّوءِ ٱلأخضرِ وٱلأحمرِ ويمتصُّ (وهكذا يحجُبُ) ٱلضّوءَ ٱلأزرقَ. وٱلمرشّحُ ٱلأحمرُ (أو ٱلأخضرُ) يسمَحُ بمرورِ ٱلضوءِ ٱلأحمرَ (أو ٱلأخضرِ) ويمتصُّ ما سواهُ. وهكذا تبدو ٱلأجسامُ ٱلتي حُجِبَ ٱلضّوءُ ٱلذي من لونِها أغمقَ منَ ٱلمعتادِ، لأنّ ٱلطاقةَ ٱلضوئيّةَ ٱلسّاقطةَ على ٱلفيلمِ هيَ أقلُّ في هذهِ ٱلحالِ.

إبْصارُ ٱلألْوان

لِلإنسانِ خَمْسُ حَواسَّ هِيَ ٱلبَصَرُ وٱلسَّمْعُ وٱللَّمْسُ وٱلذَّوقُ وٱلشَّمُّ، وحاسَّةُ ٱلبَصَرِ هِيَ ٱلأكْثَرُ تَطَوُّرًا بَيْنَ هٰذِهِ ٱلحَواسِّ. فٱلإنسانُ يَعيشُ في عالَمٍ من ٱلألْوانِ ومِنَ ٱلنُّورِ وٱلظَّلامِ. ولَيْسَتِ ٱلحالُ كَذٰلِكَ معَ ٱلكائناتِ ٱلحَيَّةِ ٱلأُخرى ٱلتي طَوَّرَتْ على ٱلأغْلَبِ حَواسَّ أُخْرى كٱلشَّمِّ وٱلسَّمْعِ إلى دَرَجَةٍ تَفُوقُ مُسْتَواها في ٱلإنسانِ.

فٱلعَيْنُ ٱلبَشَرِيَّةُ عُضْوٌ مُعَقَّدُ ٱلتَّرْكيبِ، يَدْخُلُها ٱلضَّوءُ مِنَ ٱلبُؤْبُؤِ (ٱلحَدَقَةِ) فَتُرَكِّزُهُ ٱلعَدَسَةُ في بُؤرَةٍ على ٱلشَّبَكِيَّةِ ٱلَّتي تُبَطِّنُ ٱلجِدارَ ٱلخَلْفِيَّ لِلْعَيْنِ.

وهُنالِكَ نَوعانِ مِنَ ٱلخلايا ٱلعَصَبِيَّةِ ٱلحَسَّاسَةِ لِلضَّوءِ في شَبَكِيَّةِ ٱلعَيْنِ هُما ٱلخَلايا ٱلعَصَوِيَّةُ وٱلخَلايا ٱلمَخْروطِيَّةُ. وٱلخَلايا ٱلعَصَوِيَّةُ تَعْمَلُ في ٱلعَتَمَةِ أو في ٱللَّيلِ حَيْثُ ٱلنُّورُ خافِتٌ. وهِيَ عاجِزَةٌ عَن تَمْييزِ ٱلألْوانِ، لِذلِكَ تَنْحَصِرُ رُؤْيَتُنا في الأَماكِنِ ٱلمُعْتِمَةِ على إبْصارِ أسْوَدَ أَبْيَضَ فَقَط. فَتَبْدُو لَنا ٱلألْوانُ ٱلزّاهِيَةُ حِينَئذٍ كَظِلالٍ مُتَبايِنَةٍ مِنَ ٱلرَّمادِيِّ ٱلفاتِحِ أو ٱلغامِقِ.

وٱلخَلايا ٱلمَخْروطِيَّةُ هِيَ ٱلَّتي تُمَكِّنُنا مِن إدْراكِ ٱلألْوانِ. وقَدْ كانَ ٱلعالِمُ هِلْمهولْتز أوَّلَ مَنْ قالَ بِوُجُودِ ثَلاثِ مَجْمُوعاتٍ مِنَ ٱلخَلايا ٱلمَخْروطِيَّةِ في شَبَكِيَّةِ ٱلعَيْنِ – إحْداها حَسَّاسَةٌ لِلضَّوءِ ٱلأحْمَرِ وٱلأُخرى لِلأَزْرَقِ وٱلثّالِثَةُ لِلضَّوءِ ٱلأخْضَرِ. وٱلمَعْروفُ أنَّه يُمكِنُ تَرْكيبُ أيِّ لَونٍ بِمَزْجِ هٰذِهِ ٱلألْوانِ ٱلأَوَّلِيَّةِ (أُنْظُرْ صفحة ١١٤). فعِنْدَما يَسْقُطُ ٱلضَّوءُ على ٱلشَّبَكِيَّةِ تتأثَّرُ بِهِ مَجْمُوعَةٌ أو أكثَرُ مِنْ مَجموعاتِ ٱلخَلايا ٱلمَخْروطِيَّةِ تَبَعًا لِلَوْنِه. فٱلضَّوءُ ٱلأَصْفَرُ يَسْتَثيرُ ٱسْتِجابَةً مُتَساوِيَةً من مَجمُوعَتَي ٱلخَلايا ٱلحَمراءِ وٱلخَضراءِ ولا يَسْتَثيرُ ٱلخَلايا ٱلمَخْروطِيَّةَ ٱلزَّرقاءَ مُطْلَقًا. وتَتَحَوَّلُ ٱسْتِجابَةُ ٱلخَلايا ٱلمَخروطِيَّةِ إلى إشارةٍ كَهْرَبائِيَّةٍ يَحْمِلُها ٱلعَصَبُ ٱلبَصَرِيُّ إلى ٱلمُخِّ فيتَبَيَّنُ ٱلمُخُّ لَونَ ٱلضَّوءِ ٱلمُسْتَثيرِ.

ويَعْمَلُ ٱلتِّلِفِزْيُونُ ٱلمُلَوَّنُ بِطَريقَةٍ مُماثِلَةٍ إلى حَدٍّ كَبيرٍ لإبْصارِ ٱلألْوانِ. فعِنْدَ تَلْفَزَةِ ٱلمَشْهَدِ (أي بَثِّهِ تِلِفِزْيُونِيًّا) يُحَلَّلُ ٱلضَّوءُ إلى مُقَوِّماتِهِ ٱلأَوَّلِيَّةِ أي ٱلأحْمَرِ وٱلأخْضَرِ وٱلأَزْرَقِ. ويُحَوَّلُ كُلٌّ مِنْ هٰذه ٱلألوانِ إلى إشارَةٍ

هِلْمهولتز

إلى ٱليسار

هِرْمان فُونْ هِلْمهُولْتز (١٨٢١ – ١٨٩٤). طَبيبٌ وعالِمٌ فيزيائيٌّ ورِياضيٌّ ألمانيٌّ. دَرَسَ فيزيولوجيَّةَ عَمَلِ ٱلعَيْنِ وٱلأُذُنِ، وقامَ بإنجازاتٍ مُهِمَّةٍ في حَقْلَي ٱلطِّبِّ والفيزياء وبخاصَّةٍ في ٱلكَهْرَباء وٱلمِغْنَطيسيَّةِ.

إلى ٱليسار

يَنْتُجُ عَمَى ٱلألْوانِ عِنْدَما يَتَعَطَّلُ لِسَبَبٍ ما عَمَلُ مَجْموعَةٍ أو أكثَرَ من مَجموعاتِ ٱلخلايا ٱلمَخْروطِيَّةِ ٱلثَّلاثِ في ٱلشَّبَكِيَّةِ. يَجِدُ أعْمَى ٱلألوانِ صُعُوبَةً في تَمييزِ بَعْضِ الألوانِ وأحْيانًا يَسْتَحيلُ عَلَيْهِ ذلِكَ. فَفي مَجموعَةِ الألوانِ ٱلظاهِرَةِ في الشكلِ يَرى أعْمَى الأحْمَرِ والأخْضَرِ ٱلحَرفَ N ويَخْتَفي حَرْفُ V بٱلنِّسْبَةِ لَهُ في خَلفِيَّةِ ٱلألوانِ ٱلأخرى..

إلى أسفَل

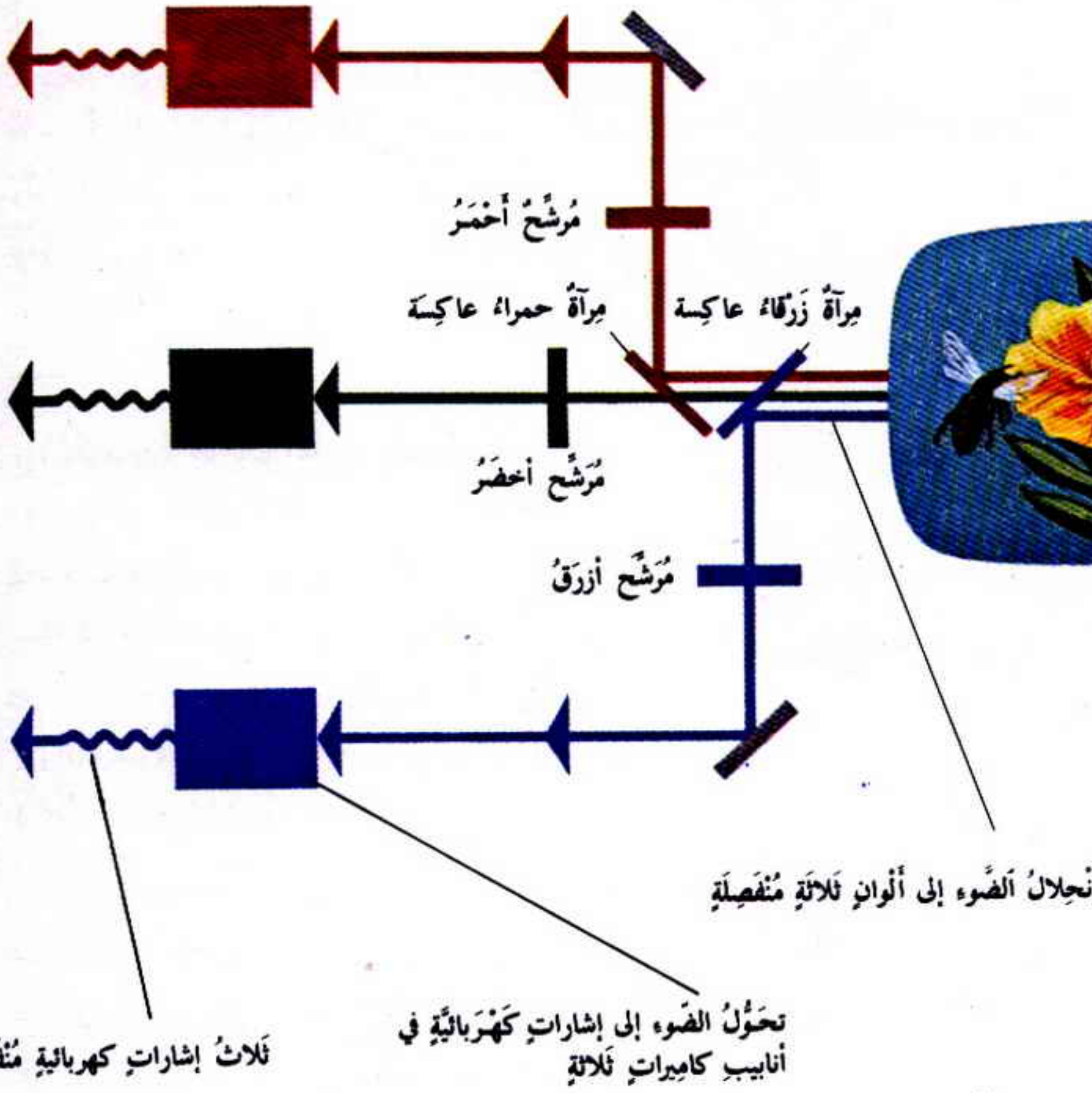
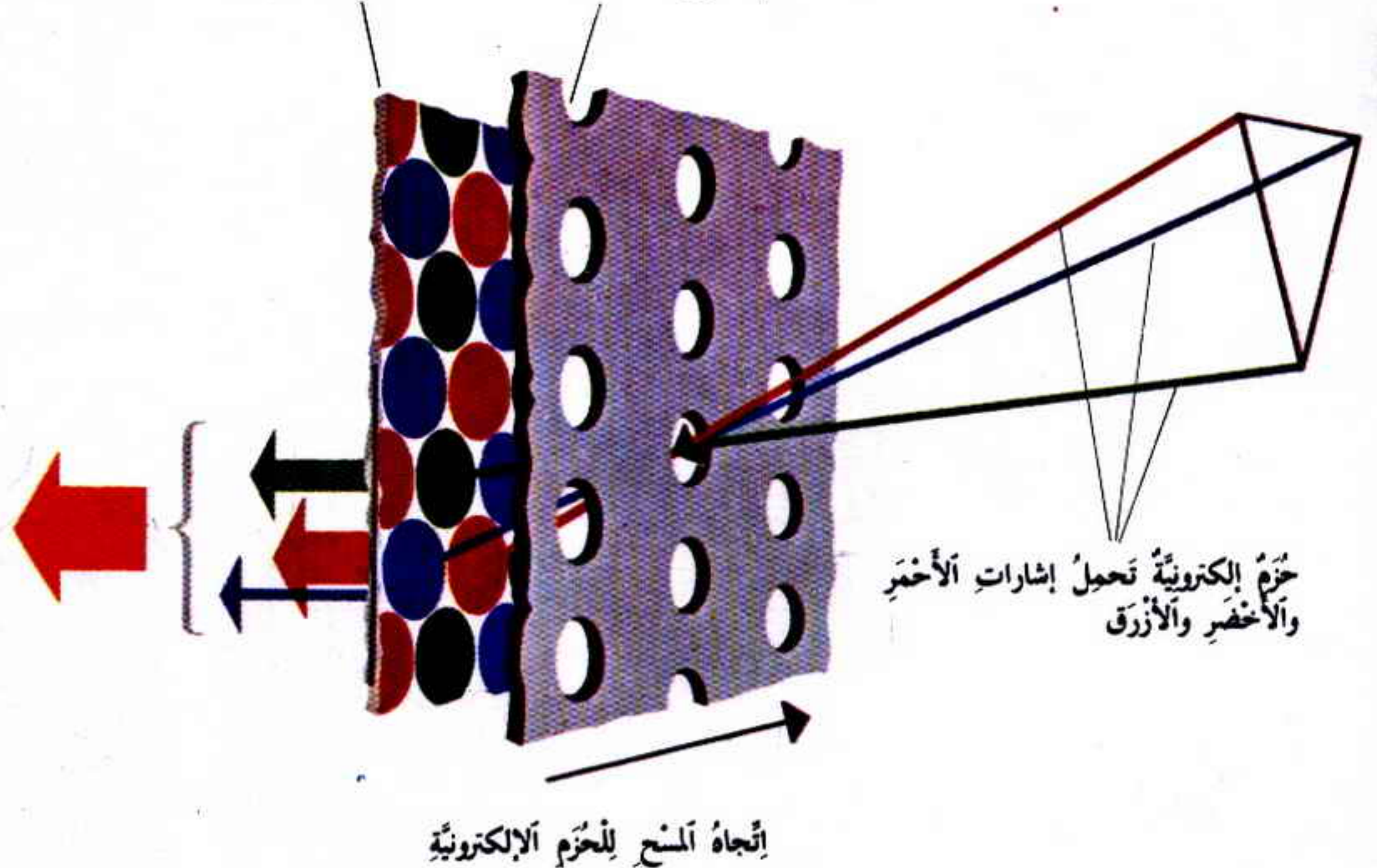
يَسْتَطيعُ ٱلإنسانُ العاديُّ رُؤيَةَ ألوانِ ٱلطَّيفِ (كما في قوسِ ٱلقُزَحِ)، وهُوَ يَمتازُ بِذلكَ عن سِواهُ من الكائناتِ. ويَعْتَقِدُ ٱلعُلَماءُ أنَّ بَعْضَ ٱلحَيَواناتِ ترى ظِلالَ ٱلأَسْوَدِ وٱلأَبْيَضِ فَقَطْ ولا تُمَيِّزُ أيًّا من الوانِ ٱلطَّيفِ. فالنَّحلُ مَثَلًا عاجِزَةٌ عن تَمييزِ ٱللَّونِ الأحْمَرِ لكِنَّها تُبْصِرُ ٱلإشعاعاتِ فَوقَ البَنَفْسَجِيَّةِ جيِّدًا، وذلكَ يُساعِدُها في تَتَبُّعِ خُطُوطٍ دَليلِيَّةٍ في تُوَيْجاتِ بَعْضِ ٱلأزهارِ تَقُودُها إلى ٱلمِعْثَرِ (ٱلرَّحيقِ) فيها. وٱلإنسانُ لا يُبْصِرُ مِثْلَ هٰذِهِ ٱلإشعاعاتِ (ٱلتي تُعْتَبَرُ ضَوءًا فَوقَ بَنَفْسَجِيٍّ).

كَهْرَبائِيَّةٍ مُنْفَصِلَةٍ تَعْتَمِدُ شِدَّتُها على حِدَّةِ اللَّوْنِ الضَّوْئِيِّ.

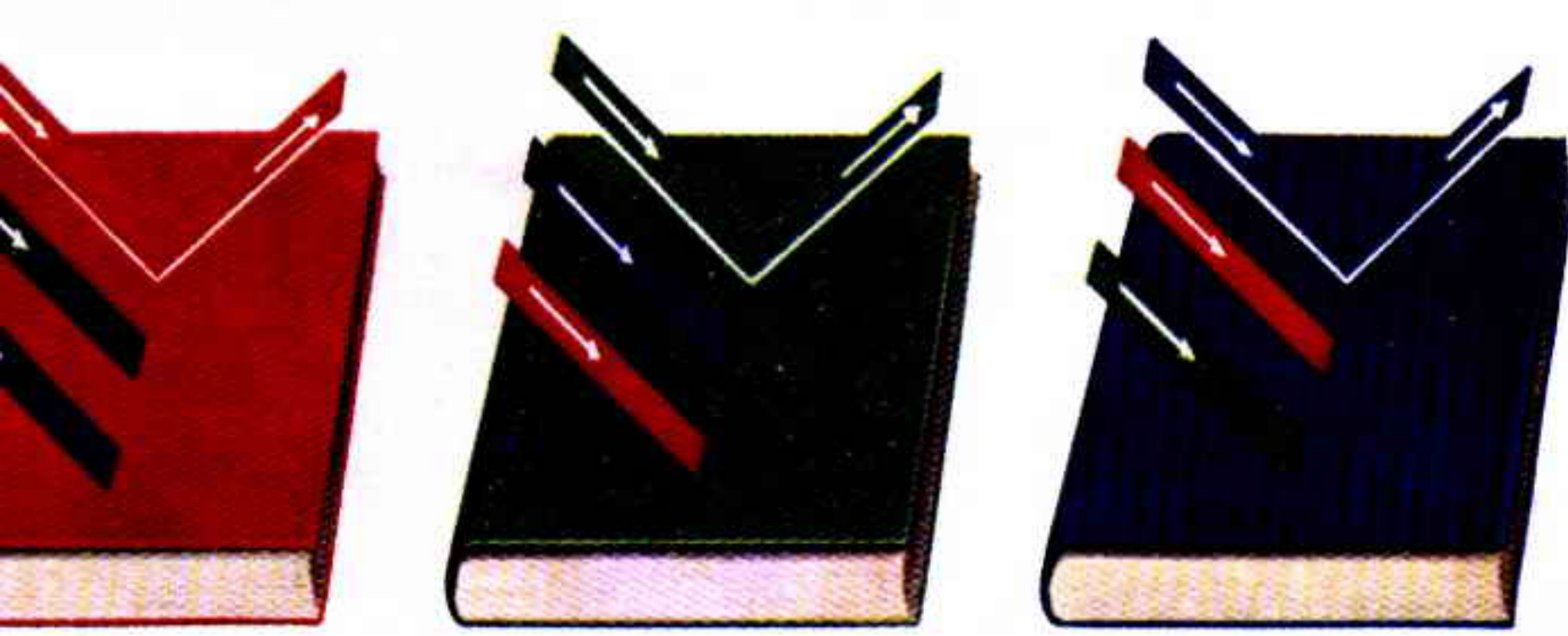
تُبَثُّ هذِهِ الإشاراتُ الثَّلاثُ من مَحَطَّةِ البَثِّ فتَسْتَقْبِلُها أَجْهِزَةُ التِّلِفِزْيُونِ في المَنازِلِ. وتُسْتَخْدَمُ هٰذِهِ الإشاراتُ لانْبِعاثِ ثَلاثِ حُزَمٍ إلِكْتْرونِيَّةٍ تَحْمِلُ إشاراتِ الأَخْضَرِ والأَزْرَقِ والأَحْمَرِ. وتَمْسَحُ هٰذِهِ الحُزَمُ سِتارَةَ التِّلِفِزْيُونِ بالطَّرِيقَةِ ذاتِها الَّتي تُمْسَحُ بِها سِتارَةُ التِّلِفِزْيُون الأَسْوَدِ والأَبْيَضِ بِحُزْمَةٍ إلِكْتْرونِيَّةٍ أُحادِيَّةٍ (أنظر صفحة ٢٤٥).

وسِتارَةُ التِّلِفِزْيُونِ المُلَوَّنِ مُغَطَّاةٌ بأكْثَرَ مِنْ مِلْيُونِ بُقْعَةٍ مُتَفَسْفِرَةٍ مُرَتَّبَةٍ في ثُلاثِيَّات. وكُلُّ واحِدَةٍ من الثُّلاثِيَّةِ تَبْتَعِثُ ضوءًا أَحْمَرَ أو أَخْضَرَ أو أَزْرَقَ حالَ سُقُوطِ الإلِكْترونات عَلَيْها. وهكَذا تَتَحَوَّلُ الإشاراتُ الكَهْرَبائِيَّةُ إلى الأَضواءِ الأَحْمَرِ والأَخْضَرِ والأَزْرَقِ بِشِدَّةٍ تَتَناسَبُ مَعَ قُوَّةِ الإشارات.

وتُشاهَدُ ثُلاثِيَّةُ الفُوسفُورِ الدَّقِيقَةُ كَبُقْعَةٍ ضَوئِيَّةٍ أُحادِيَّةٍ يَعْتَمِدُ لَونُها على نِسَبِ أَضْواءِ الأَحْمَرِ والأَخْضَرِ والأَزْرَقِ المُنْبَعِثَةِ مِنها. وبتَغَيُّرِ المَشْهَدِ التِّلِفِزيونيّ تتَغَيَّرُ شِدَّةُ كُلٍّ من الحُزَمِ الإلِكْترونِيَّةِ الماسِحَةِ وتَتَغَيَّرُ بالتَّالي الأَلوانُ النَّاتِجَةُ.

فوق

في التَّلْفَرَةِ المُلَوَّنَةِ يُحَلَّلُ الضَّوءُ إلى النِّسَبِ الصَّحيحةِ من الأَلوانِ الأَوَّلِيَّةِ وهيَ الأَحْمَرُ والأَخضَرُ والأَزرَقُ باسْتِخدامِ مَرايا ومُرَشِّحاتٍ خاصَّةٍ. فالمِرآةُ المُلَوَّنَةُ تَعكِسُ لَوْنَها وتُمِرُّ باقي الأَلوانِ، والمُرَشِّحُ المُلَوَّنُ يُمِرُّ لَوْنَهُ فقط. ثُمَّ تُغَذَّى هذِهِ الأَلوانُ كُلٌّ على حِدَةٍ إلى أُنبوبِ كاميرا مُنْفَصِلٍ حَيْثُ يَتَحَوَّلُ إلى إشارَةٍ كَهْرَبائِيَّةٍ.

إلى اليمين

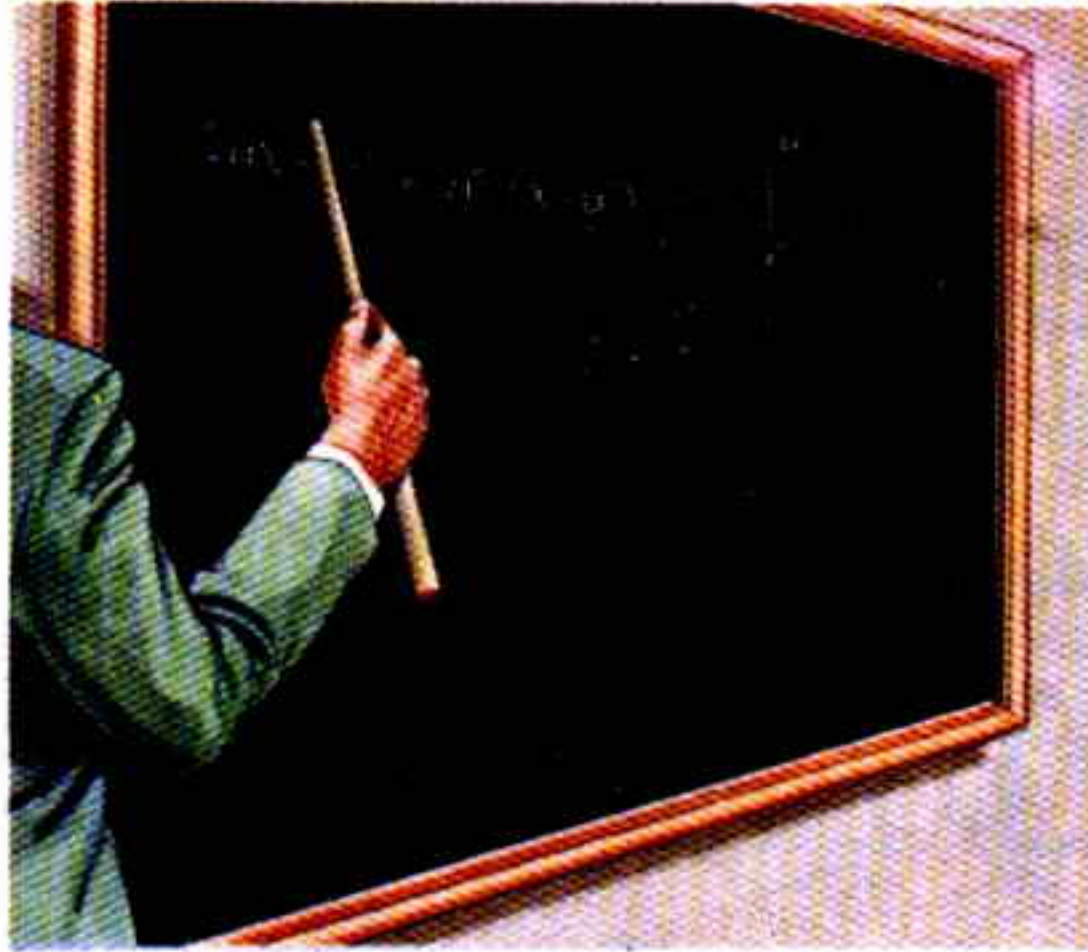
سِتارةُ التِّلفِزيُونِ المُلَوَّنِ مُغَطَّاةٌ بِنِقاطٍ مُتَفَسْفِرَةٍ مُرَتَّبَةٍ في ثُلاثِيَّات. تُوَجَّهُ الحُزَمُ الإلِكترونِيَّةُ بِحَيْثُ تَسقُطُ الحُزْمَةُ حامِلَةُ إشارَةِ الأَحْمَرِ على جُزْءِ الثُّلاثِيَّةِ الَّذي يَبْتَعِثُ ضَوءًا أَحْمَرَ، وتَسقُطُ الحُزْمَةُ الإلِكترونِيَّةُ الخَضْراءُ على الجُزْءِ المُتَفَسْفِرِ الذي يَبْتَعِثُ الضَّوءَ الأَخْضَرَ وكَذلِكَ الحُزْمَةُ حامِلَةُ الإشارَةِ الزَّرقاءِ على الجُزْءِ الَّذي يَبْتَعِثُ الضَّوءَ الأَزرَقَ. وهٰذِهِ الأَضواءُ الثَّلاثَةُ المُبتَعَثَةُ تُرى كنُقطَةٍ ضَوئِيَّةٍ واحِدَةٍ بِلَونِ المَزيجِ الضَّوئِيِّ المُبْتَعَثِ.

اَلأَجْسامُ ٱلمُلَوَّنَة

إنَّ ناتِجَ مَزْجِ ٱلأَضواءِ ٱلمُلَوَّنَةِ مُغايِرٌ تَمامًا لِناتِجِ مَزْجِ ٱلدِّهاناتِ ٱلمُلَوَّنَةِ. فَمَزْجُ ٱلضَّوءَيْنِ ٱلأَصفَرِ وٱلأَزْرقِ يُعطي ضَوءًا أبيضَ، بَيْنَما مَزْجُ دِهانٍ أصفَرَ مَعَ دِهانٍ أزرقَ يُعطي مَزيجًا أخْضَرَ. وٱلسَّبَبُ هُوَ أنَّ عَمليَّتَي تركيبِ ٱللَّونَينِ في ٱلحالتَينِ تَخْتَلِفانِ ٱخْتِلافًا جَوهَرِيًّا.

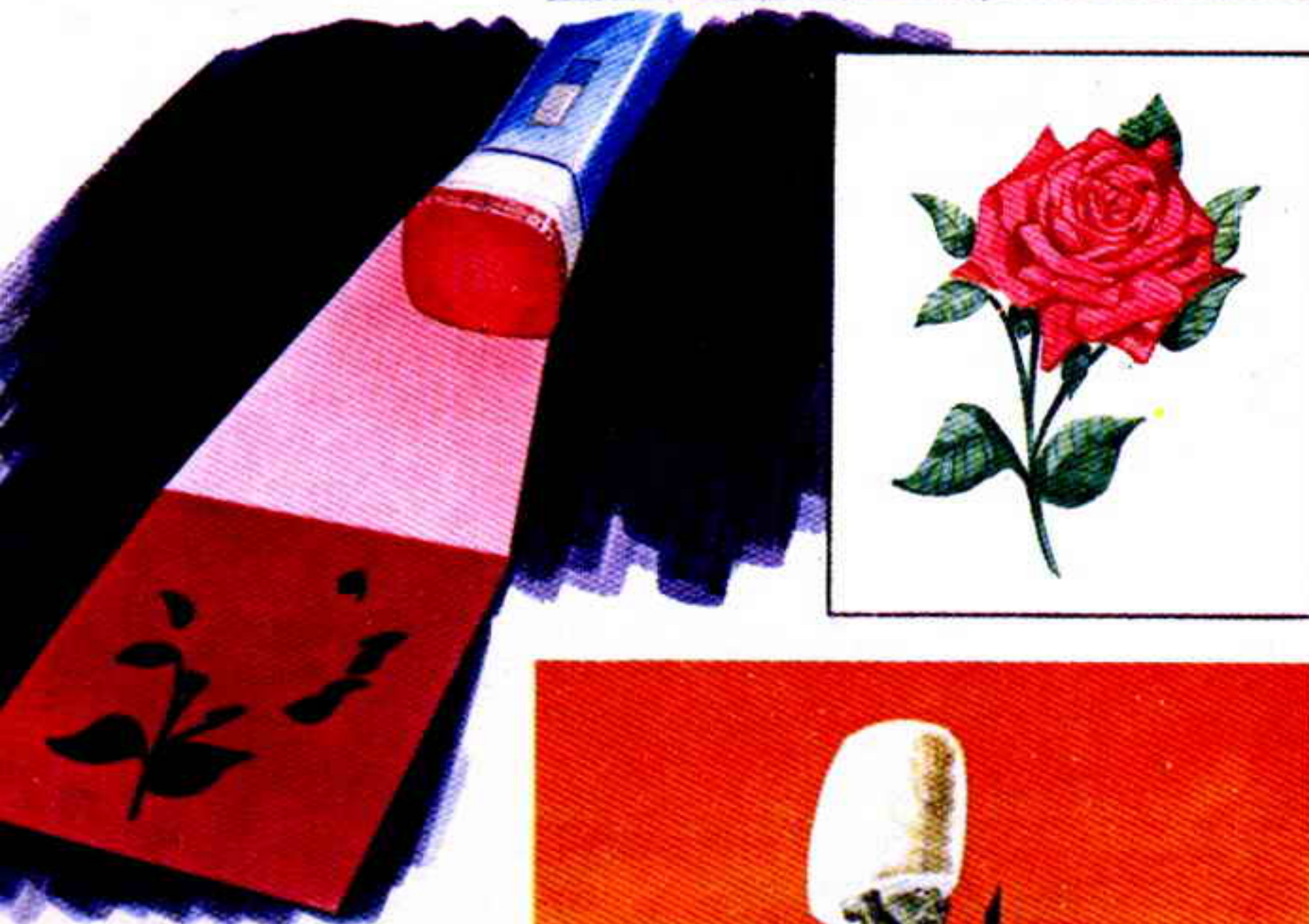
وٱلمَعروفُ أنَّ لَوْنَ ٱلجِسْمِ يَعْتَمِدُ على ٱللَّونِ أو ٱلألوانِ ٱلَّتي **يَعْكِسُها** ذلكَ ٱلجِسْم. وعِنْدَ تَعَرُّضِ ٱلموادِّ لِلضَّوءِ **تَمْتَصُّ** بَعْضَهُ **وتَعكِسُ** ٱلباقي. وٱلضَّوءُ ٱلعاديُّ سَواءٌ كانَ مِنَ ٱلشَّمسِ أو من مِصباحٍ كَهرَبائيٍّ هُوَ مَزيجٌ من ألوانِ ٱلطَّيفِ، أو يمكِنُ ٱعتِبارُهُ في ٱلواقِعِ مَزيجًا من **ٱلألوانِ ٱلأَوَّليَّةِ ٱلثَّلاثَةِ** – الأَحمرِ وٱلأخضرِ وٱلأزرقِ (أُنظُرْ صفحة ١١٤).

فإذا سقَطَ ٱلضَّوءُ ٱلأبيضُ على جِسْمٍ وٱمتَصَّ هٰذا ٱلجِسْمُ ٱللَّونَيْنِ ٱلأَخضَرَ وٱلأزرَقَ وعَكَسَ ٱلضَّوءَ ٱلأحمَرَ فإنَّهُ **جِسْمٌ أحمَرُ ٱللَّونِ**. وكُلُّ ٱلأجسامِ ٱلمُلَوَّنَةِ تَمْتَصُّ كُلَّ ألوانِ ٱلضَّوءِ ما عَدا لَونَها فتَعْكِسُه: وهذا هُوَ ٱللَّونُ ٱلَّذي تَراهُ عَيْناك.

وهٰذا يَنْطَبِقُ بِٱلطَّبْعِ على كُلِّ ٱلألوانِ لا ٱلأوليَّةِ مِنْها فَقَطْ. فٱلضَّوءُ ٱلأصفرُ يُمكِنُ تَرَكيبُهُ بمَزْجِ ٱلضَّوءَينِ

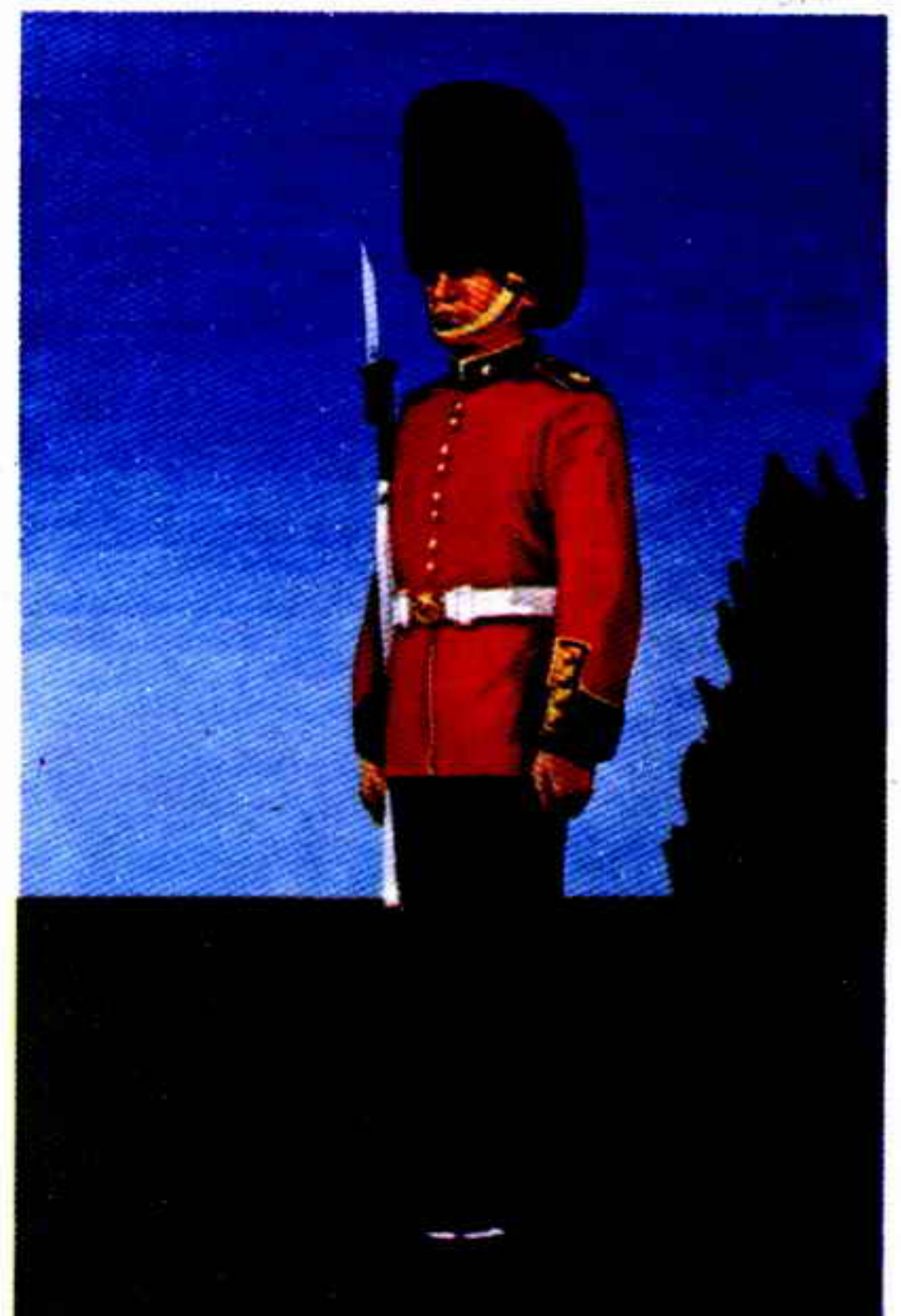
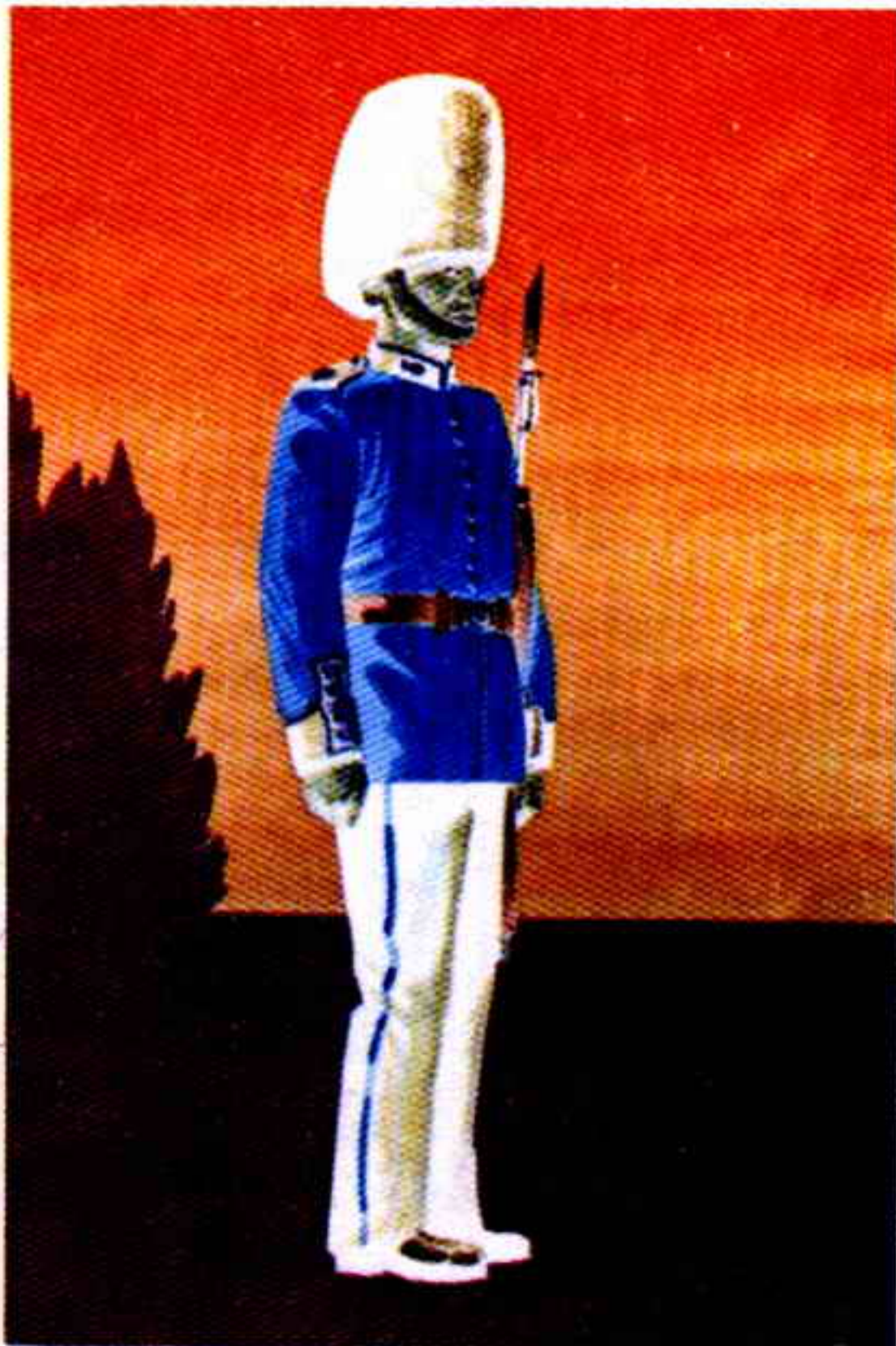
فوق

اَلأجسامُ ٱلمُلَوَّنَةُ تَمْتَصُّ بعضَ مُكَوِّناتِ ٱلضَّوءِ اللونيَّةِ وتعكِسُ ٱلباقي. وٱلعَيْنُ تَرى ٱلضَّوءَ المُنعكِسَ عنِ الجسمِ فقَطْ، وهو ٱللَّونُ ٱلَّذي يظهَرُ بِهِ ذلكَ ٱلجسمُ.

إلى ٱليمين

يَمْتَصُّ ٱللَّوحُ ٱلأسودُ كُلَّ مُكَوِّناتِ ٱلضَّوءِ ٱلسَّاقِطِ على سَطْحِهِ ولا يَعْكِسُ شيئًا. بَيْنَما تعكِسُ الكِتابَةُ بالطباشيرِ كُلَّ مُكَوِّناتِ ٱلضَّوءِ فتَبْدُو بَيْضاء.

فوق

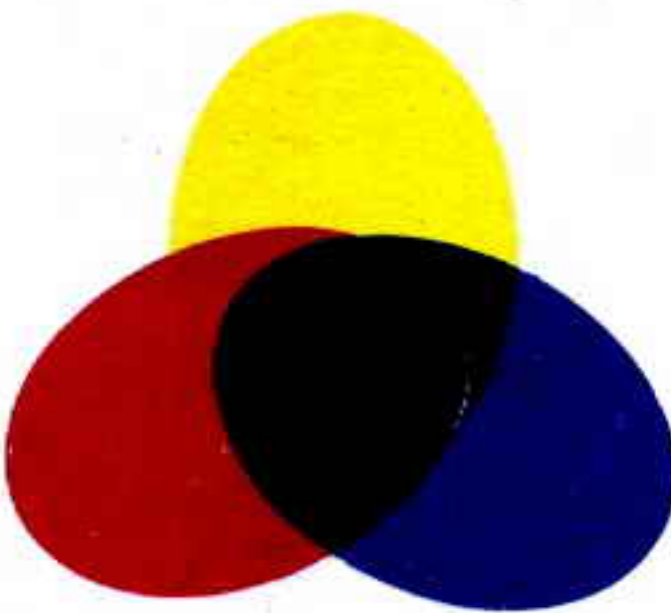
إذا نَظَرْتَ إلى صُورةِ وَرْدَةٍ وأوراقِها مَرسُومةٍ بٱلأحمرِ وٱلأخضرِ فإنَّها تَبْدُو طَبيعيَّةً في ٱلضَّوءِ ٱلأبيضِ. أمّا في ٱلضَّوءِ ٱلأحمرِ فلا يَبْدُو من ٱلوَرْدَةِ إلّا أوراقُها ٱلَّتي تَظْهَرُ سَوداءَ ٱللَّونِ. وٱلسَّبَبُ في ذلك أنَّ كُلًّا من ٱلوَرَقِ ٱلأبيضِ وٱلوَردةِ يعكِسُ ٱلضَّوءَ ٱلأحمرَ وهٰكذا تَنْدَمِجُ صُورةُ ٱلوردةِ ٱلحمراءِ في ٱلخلفيةِ ٱلحَمراء. أمّا ٱلأوراقُ ٱلخَضْراءُ فتَبْدُو سَوداءَ لأنها تعكِسُ ٱلأخضرَ من ٱلضَّوءِ، وهٰذا ٱلضَّوءُ لا أخضرَ فيه.

إلى ٱليمين

تَبْدُو سَلبيَّةُ ٱلصُّورةِ ٱلمُلَوَّنَةِ بألوانٍ مُتَمِّمَةٍ لألوانِ ٱلصُّورةِ ٱلنِّهائيَّةِ. فتَبْدُو سُتْرةُ ٱلجُنْديِّ زرقاءَ مُخْضَرَّةً وٱلأرضُ حَوْلَه حَمراءَ مُزْرَقَّةً (أرجُوانية) وٱلسَّماءُ فوقَهُ صَفراءَ وقُبَّعَتُهُ وسِرْوالُه (بَنْطَلونُه) أبيضَيْن. وتَبْدُو إلى أقصى اليمينِ ٱلصُّورةُ ٱلنِّهائيَّةُ.

الأحمرِ والأخضرِ معًا ؛ والجسمُ الأصفرُ يمتصُّ القسمَ الأزرقَ من الضوءِ الأبيضِ فقطْ ويعكسُ كِلا الضوءينِ الأحمرَ والأخضرَ.

يبدُو الجسمُ الأسودُ أسودَ لأنَّهُ يمتصُّ كُلَّ الضوءِ الواقعِ عليْهِ ولا يعْكِسُ أيَّ لونٍ مُطلقًا. أمَّا الأجسامُ البيْضاءُ فلا تمْتصُّ أيَّ ضوءٍ ملوَّنٍ، لِذا تعْكِسُ كُلَّ لونٍ يقَعُ علَيْها. فإذا أُنيرَتْ بضوءٍ أبيضَ تعكِسُ ضوءًا أبيضَ، وإذا لم يكُنِ الضَّوءُ الواقعُ علَيها أبيضَ فإنَّ لوْنَها يتغيَّرُ، ولعلَّكَ لاحظتَ ذلك وأنت تُراقِبُ النَّاسَ ليْلًا على نورِ ضوءٍ أصْفرَ مَثَلًا. فالجسمُ الأزرق يمتصُّ من الضَّوءِ الأبيضِ لونَيِ الأحمرِ والأخضرِ ويعكِسُ الأزرقَ، أمَّا إذا أُنيرَ بضوءٍ أصْفرَ (كنُورِ مِصباحِ الصُّوديوم) فإنَّه يبْدو أسْوَدَ لأنَّ هذا النُّورَ لا يحوي ضوءًا أزرقَ ليعكِسَهُ الجِسْمُ.

ويختلِفُ مزْجُ الدِّهاناتِ عن مزْجِ الألوانِ، فالألوانُ الرَّئيسيَّةُ للدِّهانِ هي ألوانُ الأحمرِ والأزرقِ والأصفرِ. وعِنْدَ مزجِ هذه الألوانِ الثَّلاثةِ بِنِسَبٍ صَحيحةٍ تحصُلُ على دِهانٍ بُنِّيٍّ. وتُستَخْدَمُ مَزيجاتٌ أُخرَى للحُصولِ على ألوانٍ أُخرَى، لكِنَّكَ لَن تحصُلَ

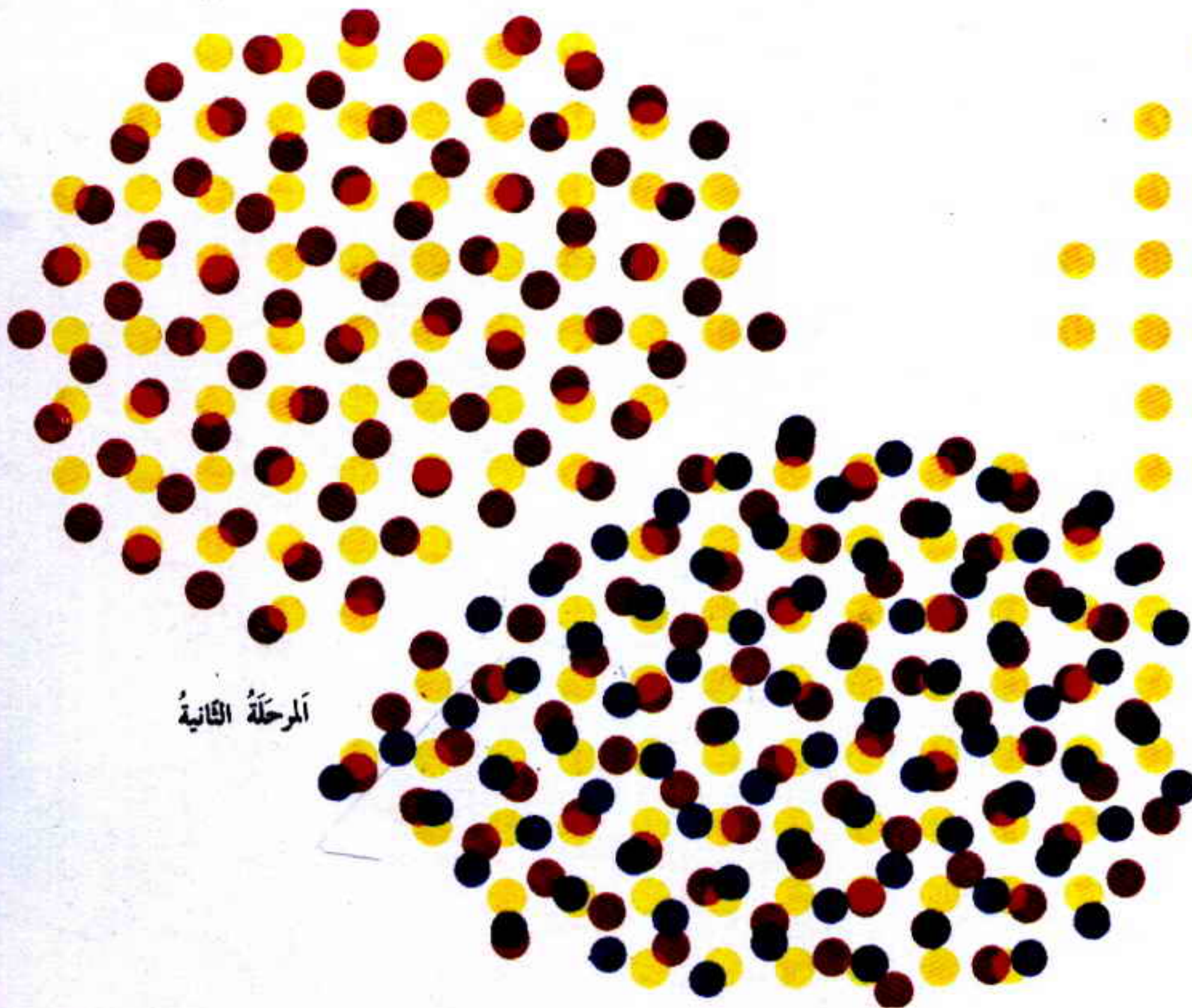
مزْجُ الأضواء (جمْعِيٌّ)

مزْجُ الدِّهاناتِ (طرْحِيّ)

فوق

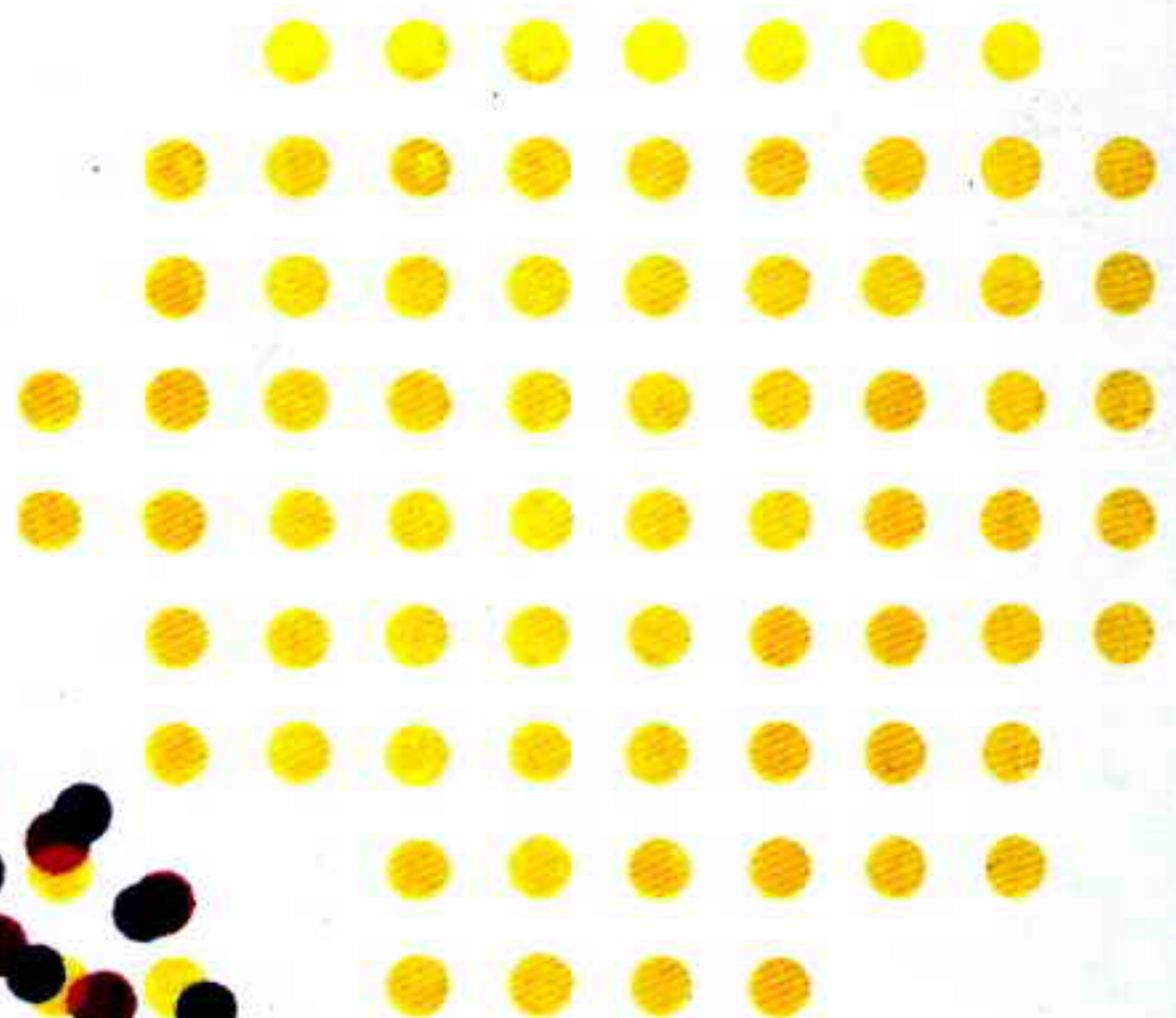
الألوانُ المُختلِفةُ الَّتي تحْصُلُ علَيْها عِنْدَ مزْجِ الأضواءِ الملوَّنةِ (إلى أعلى)، وعِنْدَ مزْجِ الدِّهاناتِ الملوَّنةِ (إلى أسفل).

على دِهانٍ أبيضَ بمزْجِ ألوانٍ أُخرى من الدِّهان.

عِنْد صَبْغِ القُماشِ أو طَبْعِ الصُّورِ الملوَّنةِ يجري التَّلوينُ بِطَبقاتٍ مُتعاقِبَةٍ من الألوانِ الأوَّليَّةِ بحيْثُ يُؤتي تمازُجُها درجَةَ اللَّونِ الصَّحيحةَ في النَّقْشِ أو الصُّورة.

ويتألَّفُ الفيلمُ الملوَّنُ من ثلاثِ طبَقاتٍ مِنَ المُستَحْلَبِ (أُنظُر صفحة ٢١٤). فتُسَجَّلُ صُورةُ الجسمِ الأحمرِ على الطَّبَقةِ الحسَّاسةِ للضَّوءِ الأحمرِ والجِسْمِ الأخضرِ على الطَّبقةِ الحسَّاسةِ للأخضرِ والأزرقِ على الطَّبقةِ الثَّالثةِ الحسَّاسةِ للأزرق. أمَّا الجسم الأصفرُ فتُسَجَّلُ صُورتُهُ على الطَّبقتينِ الحسَّاستَيْنِ للأحمر والأخضر. وتكُونُ ألوانُ السَّلبيَّةِ ألوانًا مُتتامَّةً مع الألوانِ الحقيقيَّة، فيظْهرُ الجسمُ الأحمرُ أخضرَ مُزرقًّا والأخضرُ أزرقَ مُحْمرًّا والأزرقُ أصفرَ. وكذلك يبْدُو الجِسمُ الأصفرُ أزرقَ والأرجوانيُّ أخضرَ وهكذا. ويبْدُو الجسمُ الأسودُ أبيضَ والعَكْسُ بالعَكْسِ. والمعروفُ أنَّ مزْجَ لونٍ ما كالأصفرِ مثلًا معَ اللَّونِ المُتتامِّ معَهُ (وهو الأزرق) يُعطي ضوءًا أبيضَ. وفي الصُّورةِ النِّهائيَّةِ يُعادُ تحويلُ الألوانِ المتمِّمةِ إلى ألوانِها الأوَّليَّةِ بعمليَّةِ تظهيرٍ مُعقَّدةٍ.

المرحلَةُ الأولى

المرحلَةُ الثانيةُ

المرحلةُ الثالثة

إلى اليسار

مَراحِلُ صَبْغِ القُماشِ بنَقْشٍ مُعيَّنٍ. يُبدأُ باللَّونِ الأصفرِ ثُمَّ بالأحمرِ الأرجوانيِّ وأخيرًا الأخضرِ المُزرقِّ. وحيْثُ تتراكَبُ الألوانُ تنْتُجُ ألوانٌ مُختلِفةٌ من تمازُجِها كالأحمرِ والأخضرِ وغيْرِهِما.

إلى اليسارِ

قانونُ الانعكاسِ الأوَّلُ. زاويةُ السُّقوطِ الَّتي يَرِدُ بها شُعاعُ الشَّمعةِ إلى سَطحِ المِرآةِ تُساوي زاويةَ الانعكاسِ الَّتي يَرْتَدُّ بها الشُّعاعُ عن سَطحِ المِرآةِ. أمَّا إذا سقَطَ الشُّعاعُ عَموديًّا على سَطحِ المِرآةِ فإنَّهُ يَرتَدُّ على نفسِهِ وتكونُ كُلٌّ مِن زاويتَيِ السُّقوطِ والانعِكاسِ مُساويةً صِفرًا.

أقصى اليسارِ

بإمكانِكَ رُؤيةُ نفسِكَ كما يَراكَ الآخَرونَ بالنَّظَرِ إلى مِرآتينِ مُتعامِدَتَيْنِ على سَطحِ المِنضَدةِ، فَبِذلِكَ تحصُلُ على صُورَتَيْنِ إحداهُما صُورَتُكَ والأُخرى هي صُورةُ صُورَتِكَ (وهي الصُّورةُ الَّتي يَراكَ بِها الآخَرون).

وبتَصْغيرِ الزَّاويةِ بَيْنَ المِرآتَيْنِ يَزْدادُ عَدَدُ الصُّوَرِ المُتكَوِّنةِ.

إلى أسفَلُ

تظهَرُ صُورةُ الكتابةِ مَقْلوبةً في المِرآةِ يَمينَ يَسارَ. لكِنَّكَ إذا نظَرْتَ إلى صُورةِ الكتابةِ المَقْلوبةِ في مِرآةٍ ثانيةٍ تَراها مُعْتَدِلةً لِأنَّ المِرآةَ الثَّانيةَ تَقلِبُ الصُّورةَ ثانيةً فتُعيدُها إلى وَضعِها الصَّحيحِ.

اِنعِكاسُ الضَّوءِ

عِنْدَما يَرْتَدُّ الضَّوءُ عن سَطحٍ نَقُولُ إنَّهُ **انعكَسَ**. فعِنْدَما تَنْظُرُ في مِرآةٍ تَرَى انعِكاسَ صُورَتِكَ فِيها. وتُرَى الصُّورةُ في المِرآةِ إذا كانَتْ مُسَطَّحَةً، فالسُّطوحُ الخَشِنَةُ أو غَيْرُ المُستَوِيَةِ تُكَوِّنُ صُوَرًا مُشَوَّهَةً.

ويُشْتَرَطُ في السَّطحِ العاكِسِ الجَيِّدِ أن يكُونَ صَقِيلاً، فالسَّطحُ المَطَّاطيُّ المُستَوي لا يَعْكِسُ صُورةً مِرآوِيَّةً، وهُو في الواقِعِ مَثَلٌ **على السَّطحِ الكامِدِ** أو المُطفَأِ اللَّمْعَةِ.

والمعادِنُ الفِلِزِّيَّةُ عاكِسَةٌ جيِّدَةٌ لِلضَّوءِ، لكِنْ يَصْعُبُ صُنْعُ المَرايا الصَّحيحَةِ الاستِواءِ مِنْها. وقَد صُنِعَتِ المَرايا الأُولى عَبْرَ التَّاريخِ القَديمِ منَ المعادِنِ والبرونْزِ وكانتِ الصُّورُ المُنعَكِسَةُ فِيها مُشَوَّهَةً وسُطوحُها سَهْلَةَ التَّثَنِّي وغَيْرَ صَحيحَةِ الاستِواءِ؛ وبَعد وَقْتٍ طَويلٍ ظَهَرَتْ مَرايا أفْضَلُ.

تُصْنَعُ المَرايا الحديثَةُ من صَفائحَ زُجاجِيَّةٍ تامَّةِ الاستِواءِ يُطْلى ظاهِرُها العاكِسُ بِطَبَقَةٍ من مَعدِنٍ صَقيلٍ كالفِضَّةِ أو الألومِنْيُومِ، وتغَطَّى الطَّبَقَةُ المَعْدِنِيَّةُ بِطَلْيَةٍ منَ الدِّهانِ لِتَحْفَظَها منَ الخَدْشِ والحَكِّ.

ويُساعِدُ قانُونا الانعِكاسِ في إيجادِ مَوْضِعِ الصُّورَةِ في المِرآةِ لجِسْمٍ أمامَها. وينُصُّ القانونُ الأوَّلُ على أنَّ زاويةَ وُرودِ الشُّعاعِ الضَّوئيِّ **(زاويةَ السُّقوطِ)** تُساوي زاويةَ ارتِدادِهِ عن سَطْحِ المِرآةِ **(زاويةَ الانعِكاسِ)**. وتُقاسُ هاتانِ الزَّاويتانِ بالنِّسبَةِ **لِخَطٍّ عَموديٍّ** على سَطْحِ المِرآةِ في نقطةِ الانعِكاسِ.

وينُصُّ قانُونُ الانعِكاسِ الثَّاني على أنَّ الشُّعاعَ السَّاقِطَ والمُنعَكِسَ والخَطَّ العَموديَّ تقعُ كُلُّها في مُستَوٍ واحِدٍ. وهذا يَعْني أنَّه يُمكِنُ رَسْمُها (أو تَمثيلُها) على قِطعةٍ مُسَطَّحَةٍ منَ الوَرقِ المُقَوَّى.

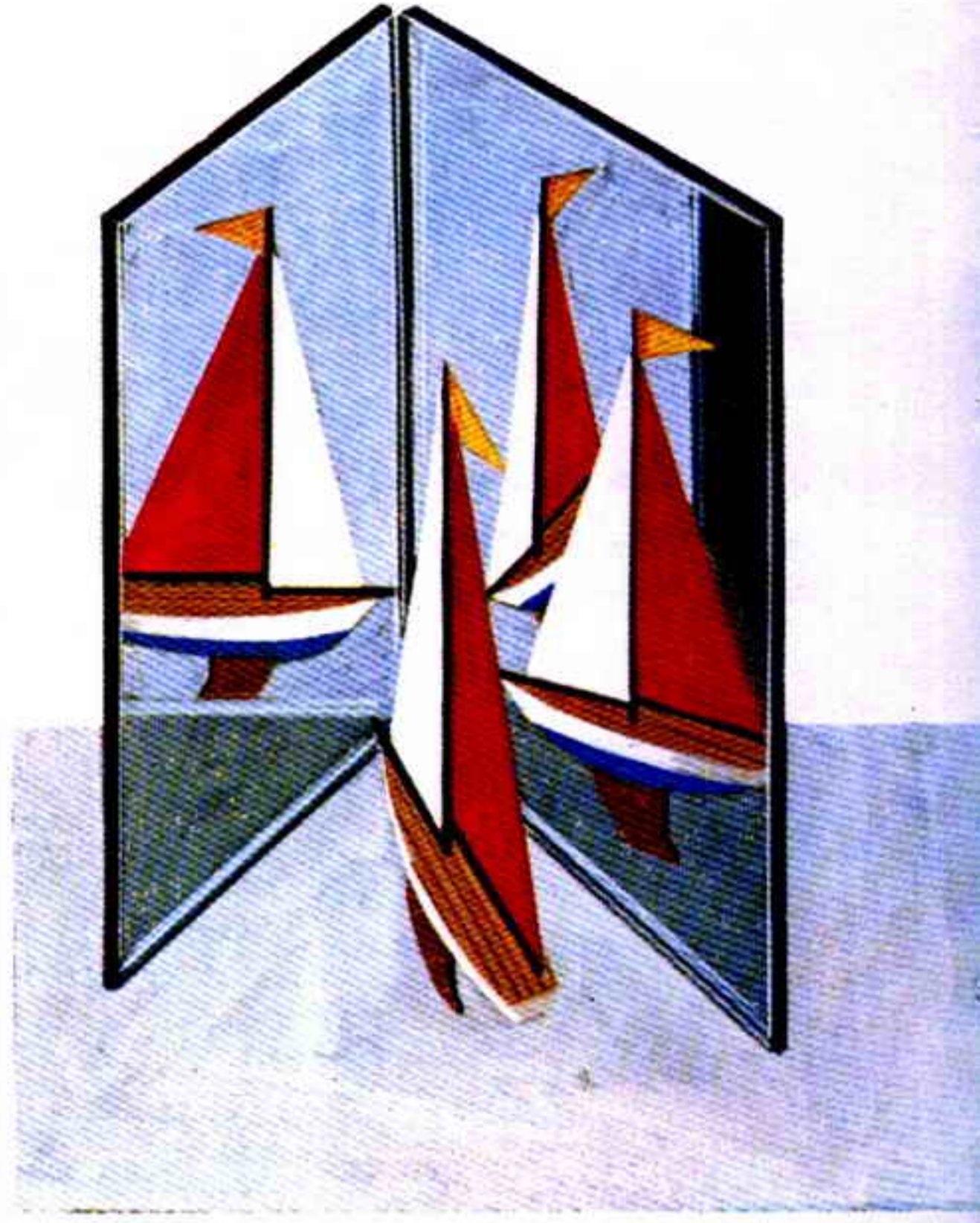
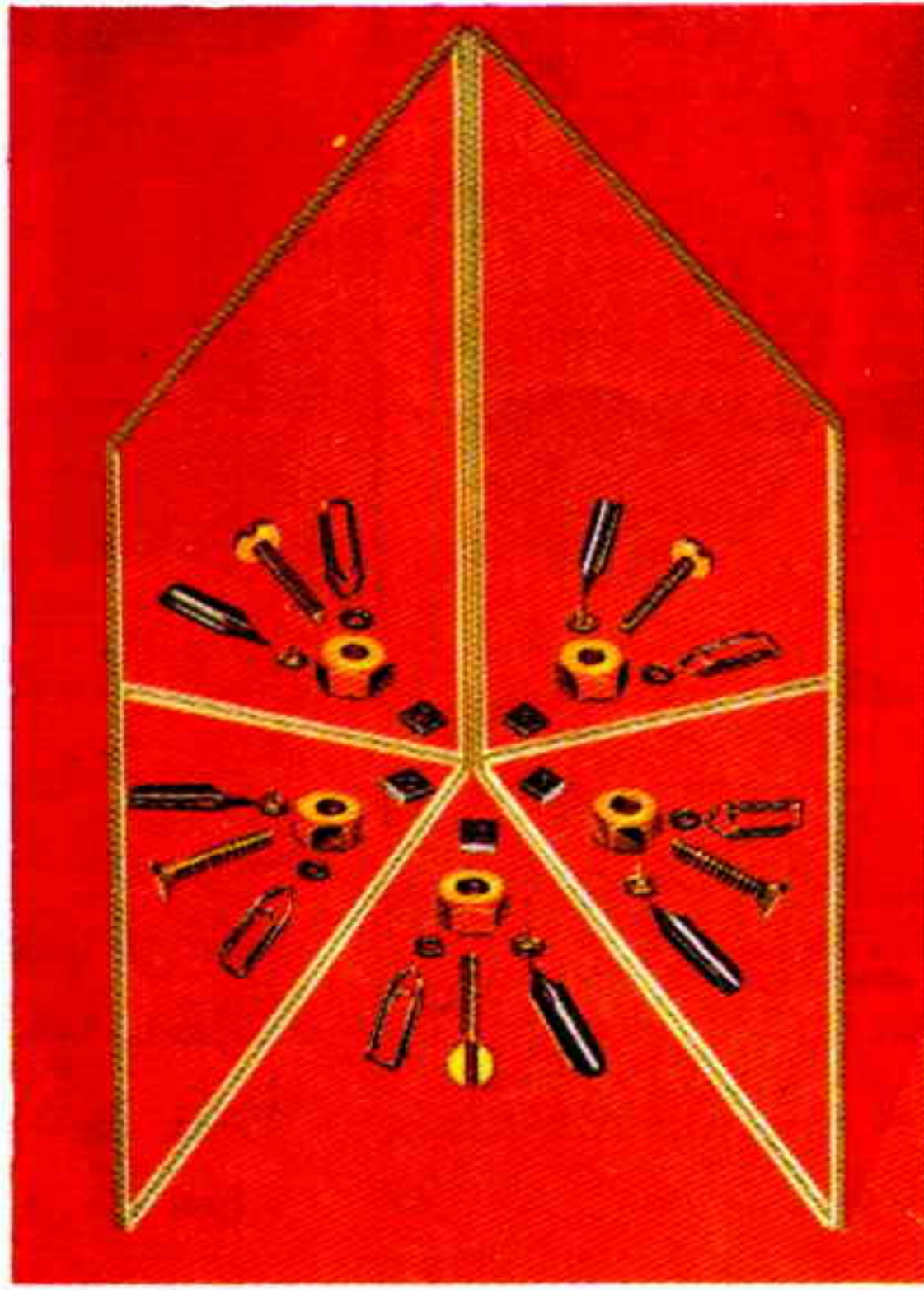
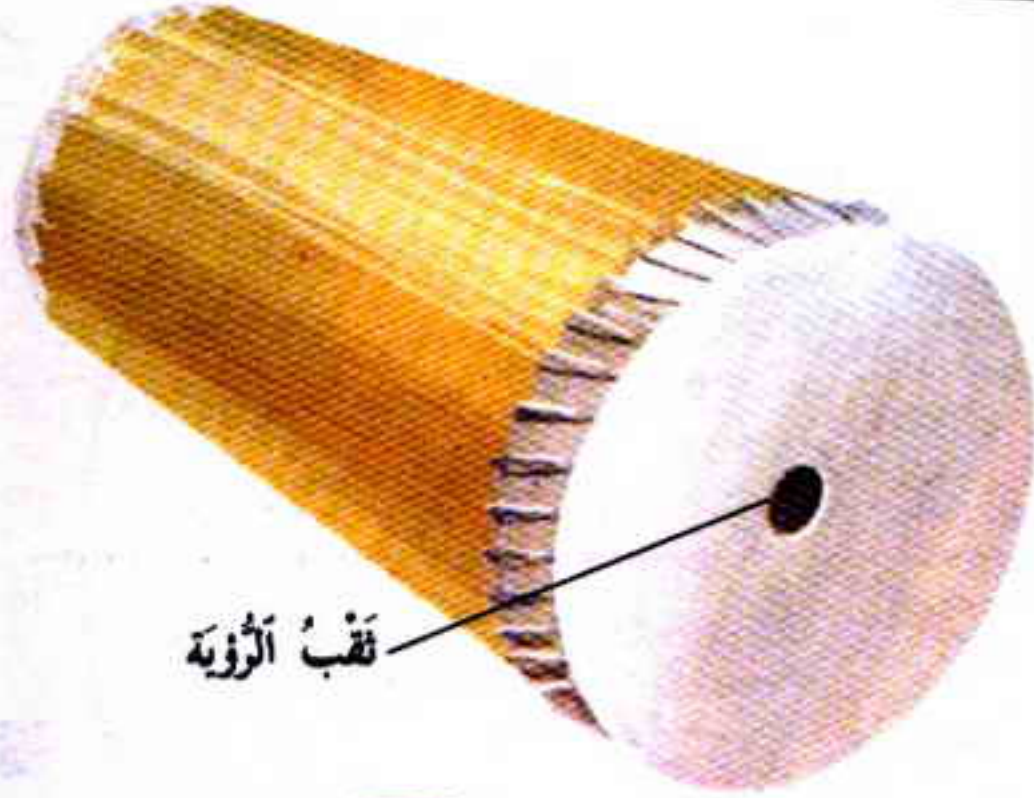
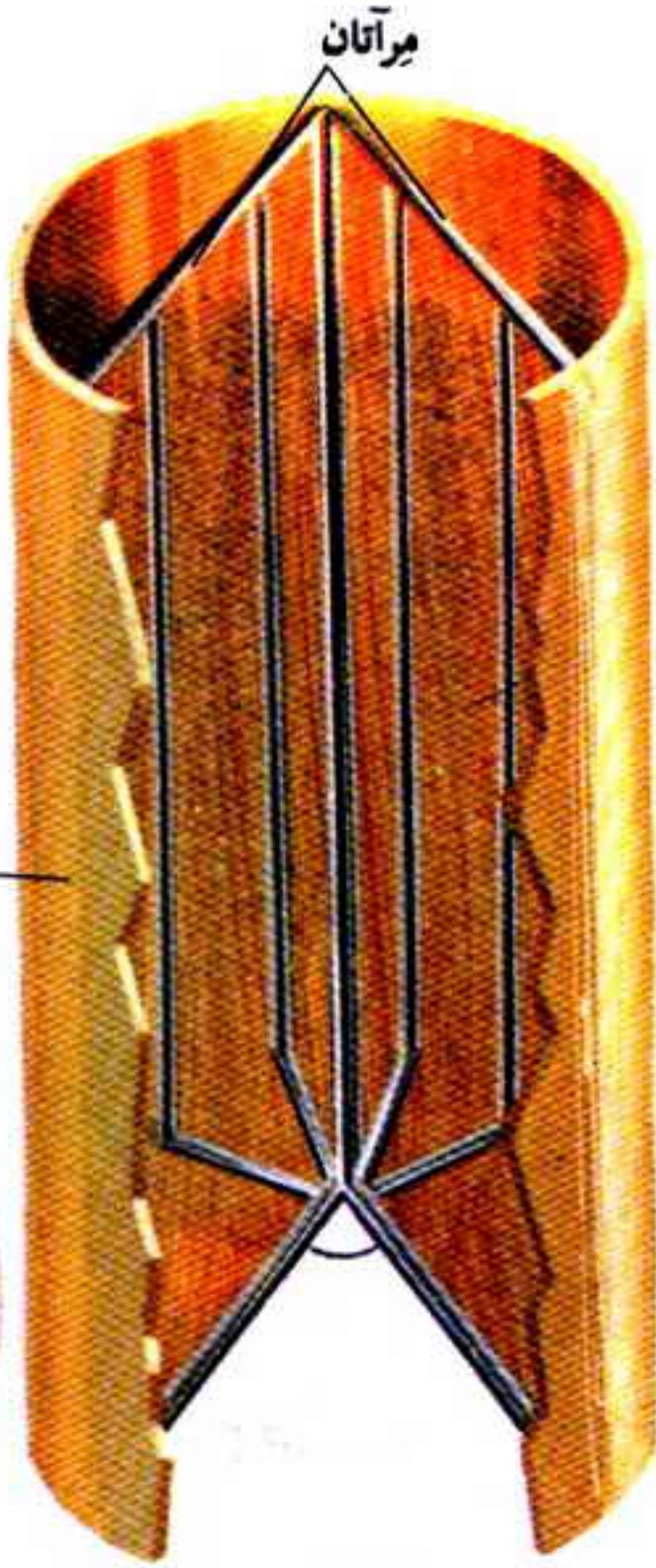
يُمكنُ إثباتُ قانونَيِ الانعِكاسِ عَمَلِيًّا باستِخدامِ مِرآةٍ صَغيرةٍ مُستَوِيةٍ. أمسِكْ بِجِسْمٍ كالقَلَمِ مَثَلًا إلى

إلى ٱليمين

كَوِّن نَمطًا من ٱلأَجْسامِ ٱلصَّغيرَةِ على قِطعَةِ وَرَقٍ ثُمَّ وَقِّفْ مِرآتَيْنِ عَمُودِيًّا على حَدَّيْها مُتَماسَّتَيْنِ حَوْلَ ٱلنَّمَطِ. إذا نَظَرْتَ عمُودِيًّا تَرى ٱلنَّمَطَ مُكرَّرًا عِدَّةَ مَرَّاتٍ، وكلَّما قلَّتِ ٱلزّاوِيةُ بين سَطْحَيِ ٱلمِرآتَيْنِ ٱزدادَ عددُ ٱلمَرَّاتِ التي يتكَرَّرُ فيها ٱلنَّمَطُ في ٱلمِشْكالِ.

إلى أسفَلُ

لِصُنعِ مِشْكالٍ (كاليدوسكُوب) عَمليٍّ أَلصِقْ حافتَي مِرآتَيْنِ مُتَماسَّتَيْنِ طُولًا، وٱطْوِ حَوْلَهُما قِطْعَةً من ٱلوَرَقِ ٱلمُقَوّى على شَكْلِ أُسطُوانَةٍ. ٱلصِقْ على إحدى قاعِدَتَي ٱلأُسطُوانَةِ صَفْحَةً من ٱلبُولِيثِينِ ٱلشَّفِّ، ثُمَّ ٱنْثُرْ بِضعَ قِطَعٍ من ٱلوَرقِ ٱلمُلَوَّنِ وغَطِّها بِصَفْحَةٍ أُخْرَى من ٱلبُولِيثِينِ دُونَ حَشْرِ قِطعِ ٱلورقِ بينَ ٱلصَّفحَتَيْنِ. غَطِّ طَرَفَ ٱلأُسطُوانَةِ ٱلآخَرَ بِقِطْعَةِ وَرَقٍ وٱثْقُبْ فيها فُتْحَةً لِتَنظُرَ مِنْها.

امسِكِ ٱلمِشْكالَ بِٱتِّجاهِ ٱلنُّورِ عِنْدَما تنظر فِيهِ. ولِتَغْيِيرِ ٱلنَّمطِ هُزَّ ٱلأُسطوانَةَ لِتَغْيِيرِ وَضْعِ ٱلوُرَيْقاتِ ٱلمُلَوَّنَةِ.

جانِبٍ منَ ٱلمِرآةِ وحَرِّكْ رأْسَكَ في جانِبِ ٱلمِرآةِ ٱلآخرِ حَتّى تَرى القَلَم فيها. إنَّ ذلِكَ مُمكِنٌ فَقَطْ حِينَما تَكُونُ ٱلزّاوِيَةُ بَيْنَ ٱلقَلَمِ وٱلمِرآةِ مُساوِيَةً لِلزّاوِيَةِ ٱلَّتي تَنْظُرُ بِها عَيْنُكَ إلى ٱلمِرآة.

وصُورَةُ ٱلجِسمِ في ٱلمِرآةِ ٱلمُسْتَوِيَةِ مُماثِلَةٌ تَمامًا لِلْجِسْمِ طُولاً وعَرْضًا وبُعْدًا بِٱلنِّسْبَةِ لِلمرآةِ، لكِنَّ ٱلصُّورةَ **مَقلوبَةٌ يَمينَ يَسارَ**. وهذا يَعْني أَنَّ جانِبَ ٱلجِسْمِ ٱلأَيْمَنَ يُصْبِحُ ٱلجانِبَ ٱلأَيْسَرَ لِلصُّورةِ وٱلعَكسُ بِٱلعَكْسِ. وهكَذا فإنَّ لا أَحَدَ يرى نَفْسَهُ في ٱلمِرآةِ على حَقيقَتِها، فيَدُكَ ٱليُمْنَى هي ٱليَدُ ٱليُسْرَى في ٱلصورةِ ٱلتي تَراها في ٱلمِرآة.

تُسْتَخْدَمُ ٱلمَرايا ٱلمُسْتَويةُ في آلاتٍ بَصَرِيَّةٍ مُتعدِّدَةٍ. فَهي في ٱلمِجْهَرِ (**الميكروسكُوب**) تُوَجِّهُ ٱلنُّورَ إلى ٱلجِسْمِ ٱلمنظورِ، وفي **ٱلسُّدْسِيَّةِ** ٱلتي يَسْتَرشِدُ بها ٱلمَلّاحُونَ تُسْتَخْدَمُ ٱلمِرآةُ ٱلمُسْتَوِيةُ لِقياسِ زاوِيَةِ ٱرتفاعِ ٱلشَّمسِ فوقَ ٱلأُفُقِ بِدِقَّةٍ تامَّةٍ.

اَلمَرايا اَلمُقَوَّسَةُ

تُصْنَعُ اَلمَرايا اَلمُقَوَّسَةُ بِالطَّريقَةِ نَفْسِها اَلّتي تُصْنَعُ فيها اَلمَرايا اَلمُستَوِيَةُ ، غَيْرَ أنَّ قِطعَ الزُّجاجِ فِيها مُقَوَّسَةٌ كَما لَو أنَّها أجزاءٌ من كُراتٍ زُجاجِيَّةٍ كبيرةٍ . والمِرآةُ اَلمُقَوَّسُ سَطْحُها اَلصَّقيلُ إلى اَلدّاخلِ هيَ **مِرآةٌ مقعَّرة** ، أما **المِرآةُ اَلمُحَدَّبَةُ** فَسَطْحُها اَلصقيلُ ناتئٌ إلى اَلخارجِ .
وقانونا الانعِكاسِ يَنْطَبِقانِ على اَلمَرايا اَلمُقَوَّسَةِ كما على اَلمَرايا اَلمُستَوِيَةِ أوِ اَلمُسَطَّحَةِ .

تتألَّفُ اَلحُزْمَةُ اَلضوئيَّةُ **اَلمُتوازِيَةُ** من أشِعَّةٍ ضَوئيَّةٍ سارِيَةٍ في الاتِّجاهِ نَفْسِه . وإذا سقَطَتْ أشِعَّةٌ ضَوئيَّةٌ مُتوازِيَةٌ على مِرآةٍ مُقَعَّرَة فإنَّها تَتلاقى وتَترَكَّزُ في نُقْطَةٍ مُحَدَّدَةٍ هيَ **بُؤرةُ** المِرآةِ . وتقعُ البُؤرَةُ على **المِحْوَرِ الرئيسيِّ** لِلمرآةِ ، وبُعْدُ البُؤرةِ عن مَرْكَزِ المِرآة يُسَمَّى **البُعْدَ البُؤريَّ** . أمَّا في اَلمَرايا اَلمُحَدَّبة فإنَّ الأشِعَّةَ اَلمُنعكِسَةَ لا تتلاقى بَلْ تَنْتَشِرُ أو تَنْفَرِجُ كما لَو أنَّها صادِرَةٌ من نُقطَةٍ **خَلْفَ** المِرآةِ تُسمَّى **البُؤرَةَ التَّقديريَّةَ** .

يَتغيَّرُ وَضعُ صُورة اَلجِسْمِ وحَجْمُها تَبَعًا لِمَوقِعِ الجِسْمِ ، أمامَ اَلمِرآةِ اَلمُقَوَّسَةِ ، داخلَ مَجالِ البُعْدِ البُؤريِّ أو خارجَهُ . ويُمكِنُ تَحديدُ مَوْقِعِ الصُّورةِ ووَضْعِها في المِرآةِ بِرَسْمِ **مُخَطَّطِ أشِعَّةٍ** .

ومِرآةُ الحِلاقَةِ اَلّتي تُرينا الوَجْهَ مُكَبَّرًا هي مِرآةٌ مُقَعَّرَةٌ يَبْلُغُ بُعْدُها البُؤري قُرابَةَ المِتْرِ . فإذا وَقَفَ شَخْصٌ على مَقْرُبَةٍ من المِرآةِ (بينَ البُؤرةِ والمِرآة) فإنَّ الأشِعَّةَ الوارِدَةَ من وَجْهِهِ تَنْعَكِسُ بِحَيْثُ تَبْدُو صُورةُ الوَجْهِ **مُكَبَّرَةً** خَلْفَ المِرآةِ . أمَّا إذا وُجِّهَتِ المِرآةُ لِتَتَلَقَّى النُّورَ مِنْ مِصباحٍ كَهْرَبائيٍّ بَعيد ، فإنَّ المِرآة تُرَكِّزُ الأشِعَّةَ الوارِدَةَ مِنْهُ وتُكَوِّنُ لَهُ صُورَةً مُصَغَّرَةً ساطِعَةً أمامَ المِرآةِ يُمكِنُ عَرْضُها على ورَقَةٍ أو سِتارةٍ عِنْدَ البُؤرَةِ على بُعْدِ مِتْرٍ تَقريبًا مِنَ المِرآةِ . وهٰذِهِ الصُّورةُ **مَقْلُوبَةٌ** رأسًا على عَقِبٍ . ويُمكِنُكَ اَستِخدامُ هٰذِهِ المِرآةِ لِعَرْضِ صُوَرٍ مُلَوَّنَةٍ لِأجْسامٍ جَيِّدَةِ الإضاءَةِ في الهَواءِ الطَّلْقِ بالطَّريقَةِ نَفْسِها .

وتَختَلِفُ المِرآةُ المُحَدَّبة في أنَّ صُورةَ الجِسمِ

إلى اليمين

قاعةُ المَرايا . تُصْنَعُ مَرايا المَعارِضِ من مَرايا مُقَعَّرةٍ ومُحَدَّبَةٍ في لَوحِ الزُّجاجِ الواحِدِ فتُكَوِّنُ صُوَرًا مُضحِكَةً غَريبَةً ، مُشَوَّهَةً وعَديمَةَ التَّناسُقِ . ويَحْلُو لِلنّاسِ أن يُشاهِدوا مِثلَ هٰذهِ الصُّوَرِ الكاريكاتوريَّةِ !

إلى اليسار

تَنشُرُ المِرآةُ المُحَدَّبَةُ الأشِعَّةَ الوارِدَةَ من جِسْمٍ بَعيد فَتَبْدو الأشِعَّةُ المُنعَكِسةُ وكأنَّها صادِرَةٌ من نُقطةٍ خَلفَ المِرآةِ هي البُؤرةُ التَّقديريَّة .

إلى اليسار

مُخَطَّطُ الأشِعَّةِ هذا يُبَيِّنُ كَيفَ تُكَوِّنُ المِرآةُ المُحَدَّبَةُ ، لِجِسْمٍ داخِلَ بُؤرَتِها ، صُورةً مُكَبَّرَةً فيها . الشُّعاعُ المُوازِي لِلمِحْوَرِ يَنْعَكِسُ مارًّا بالبُؤرة ، والشُّعاعُ الصّادِرُ من اتِّجاهِ البُؤرَةِ يَنْعَكِسُ مُوازِيًا لِلمِحْوَر . وتتكوَّنُ الصُّورةُ حَيثُ يَلْتَقي الشُّعاعان .

إلى اليسار

تُكَوِّنُ المِرآةُ المُقَعَّرةُ لِلجِسمِ البَعيدِ عن سَطْحِها (وبُؤرَتِها) صُورةً صَغيرةً مَقْلوبَةً رأسًا على عَقِبٍ يُمكِنُ عَرْضُها على ورَقةٍ أو سِتارَةٍ في جِوارِ البُؤرَةِ .

إلى اليسار

تَجْمَعُ المِرآةُ المُحَدَّبَةُ الضَّوءَ من مَجالٍ واسِعٍ حَولَ المِرآةِ وتَعكِسُ لِلمَنظَرِ صُورةً صَغيرةً مُعتَدِلَةً (غَيرَ مَقلوبةٍ) . وحَيْثُ إنَّ الصُّورةَ تَظهَرُ خَلفَ المِرآةِ فهيَ صُورَةٌ تَقديريَّةٌ (لا يُمكِنُ عَرْضُها على وَرَقةٍ أو سِتارة) .

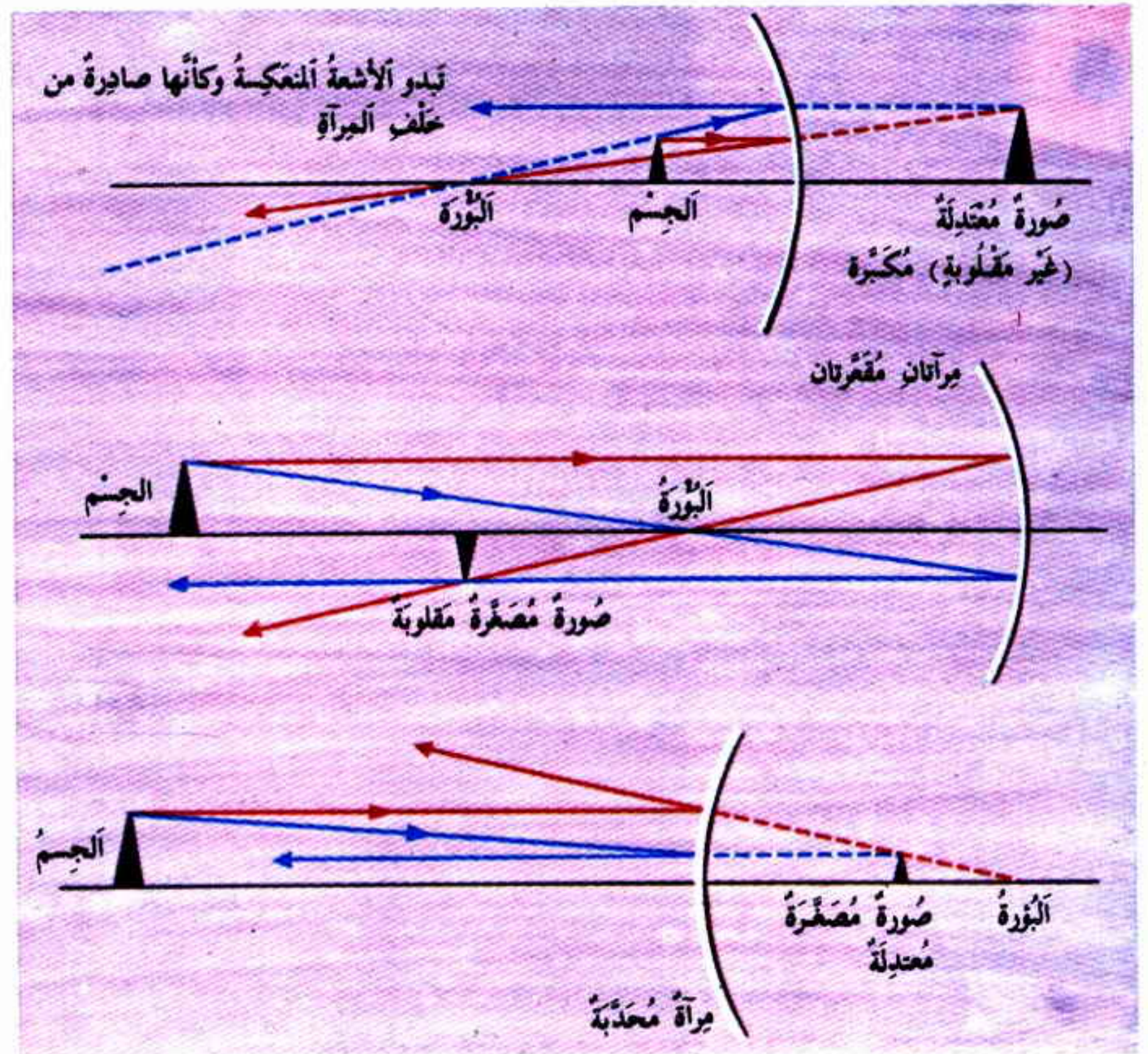
إلى اليمين

يَنطَبِقُ قانُونا الانعِكاسِ على المَرايا المُقَوَّسَةِ كَما على المَرايا المُستَوِيَةِ ، أي إنَّ زاويةَ السُّقوطِ في كُلِّ الحالاتِ تُساوي زاويةَ الانعِكاس .

إلى اليمين

إذا تَلَقَّيْتَ أشِعَّةَ الشَّمسِ بمِرآةٍ مُقَعَّرةٍ فإنَّ المِرآةَ تَجْمَعُ الأشِعَّةَ المُتوازِيَةَ السّاقِطَةَ علَيْها وتُرَكِّزُها في بُقْعَةٍ نَيِّرَةٍ في البُؤرَةِ . وقد تَستَطيعُ إشعالَ وَرَقةٍ أو قِطعَةِ خَشَبٍ إذا وَضَعْتَها في البُقْعَةِ النَّيِّرَةِ من بُؤرةِ المِرآةِ في يَومٍ حارٍّ .

ٱلْمَوضوعِ أَمامَها تكُونُ دائِمًا تَقْديرِيَّةً مُصَغَّرَةً وغَيْرَ مَقْلُوبَةٍ. وهيَ واسِعةُ ٱلمَجالِ إذْ تَجْمَعُ ٱلضَّوءَ من أَجسامٍ مُتَباعِدَةٍ حَوْلَ ٱلمرآةِ وتَعْكِسُهُ في حُزْمَةٍ ضَيِّقَة، ولِهذا تُسْتَخْدَمُ على جَوانِبِ ٱلسَّيّاراتِ لِتعكِسَ لِلسّائِقِ مِساحةً واسِعةً من ٱلطَّريقِ خَلْفَهُ في مِرآةٍ صَغيرةٍ.

وتُسْتَخْدَمُ ٱلمَرايا **ٱلمُقَعَّرَةُ** ٱلضَّخْمَةُ لِتَجْمَعَ ٱلضَّوءَ من أَجسامٍ بَعيدةٍ في بُقْعَةٍ واحِدَةٍ كما في ٱلمَراقِبِ (ٱلتِّلِسكوبات) ٱلفلكِيَّةِ. والمَرايا ٱلإهليلَجيَّةُ (البَيضيَّةُ الأنحناء) أفضَلُ في هٰذا المجالِ إذ إنَّ شَكْلَها **ٱلمُكافِئيَّ ٱلمَقْطَعِ** يُرَكِّزُ النُّورَ في بُؤرةٍ مُحَدَّدَةٍ دُونَ تَشويهٍ. وتُسْتَخْدَمُ المَرايا ٱلمُقَعَّرةُ كذلكَ في مَصابيحِ ٱلسَّيّاراتِ ٱلأَماميَّةِ، فالأَشِعَّةُ ٱلمُنْبَعِثَةُ من بَصَلَةِ ٱلمِصباحِ في بُؤرَتِها تَرْتَدُّ حُزَمًا مُتَوازِيَةً كاشِفَةً.

أمّا ٱلمَرايا ٱلمُحَدَّبَةُ فتُسْتَخْدَمُ لإبصارِ مَجالٍ واسِعٍ في ٱلمرآةِ كما في مِرآةِ ٱلقِيادةِ على جانبِ ٱلسَّيّارة، أو لِمُراقَبَةِ ٱلرُّكّابِ في حافِلَةٍ، أو لِمُراقَبة تصَرُّفِ ٱلزَّبائِنِ ٱلمُنْتَشِرينَ في مَتْجَرٍ لِلْخدمَةِ ٱلذّاتيَّةِ.

مِرآةٌ مُحَدَّبَةٌ
أشِعَّةٌ ضَوئِيَّةٌ مُتَوازِيَةٌ من جِسمٍ بَعيدٍ
تَبْدو ٱلأشِعَّةُ ٱلمُنعَكِسَةُ وكأنَّها صادِرَةٌ مِنَ ٱلبُؤرةِ ٱلتَّقديرِيَّةِ خَلْفَ ٱلمِرآةِ
بُؤرةٌ تَقديرِيَّةٌ
أشِعَّةٌ مُنعَكِسَةٌ

تَبدو ٱلأشعةُ ٱلمنعكِسةُ وكأنّها صادِرةٌ من خَلفِ ٱلمِرآةِ
ٱلبُؤرَة
ٱلجِسْم
صُورةٌ مُعْتَدِلَةٌ (غَيرُ مَقلُوبةٍ) مُكَبَّرَة

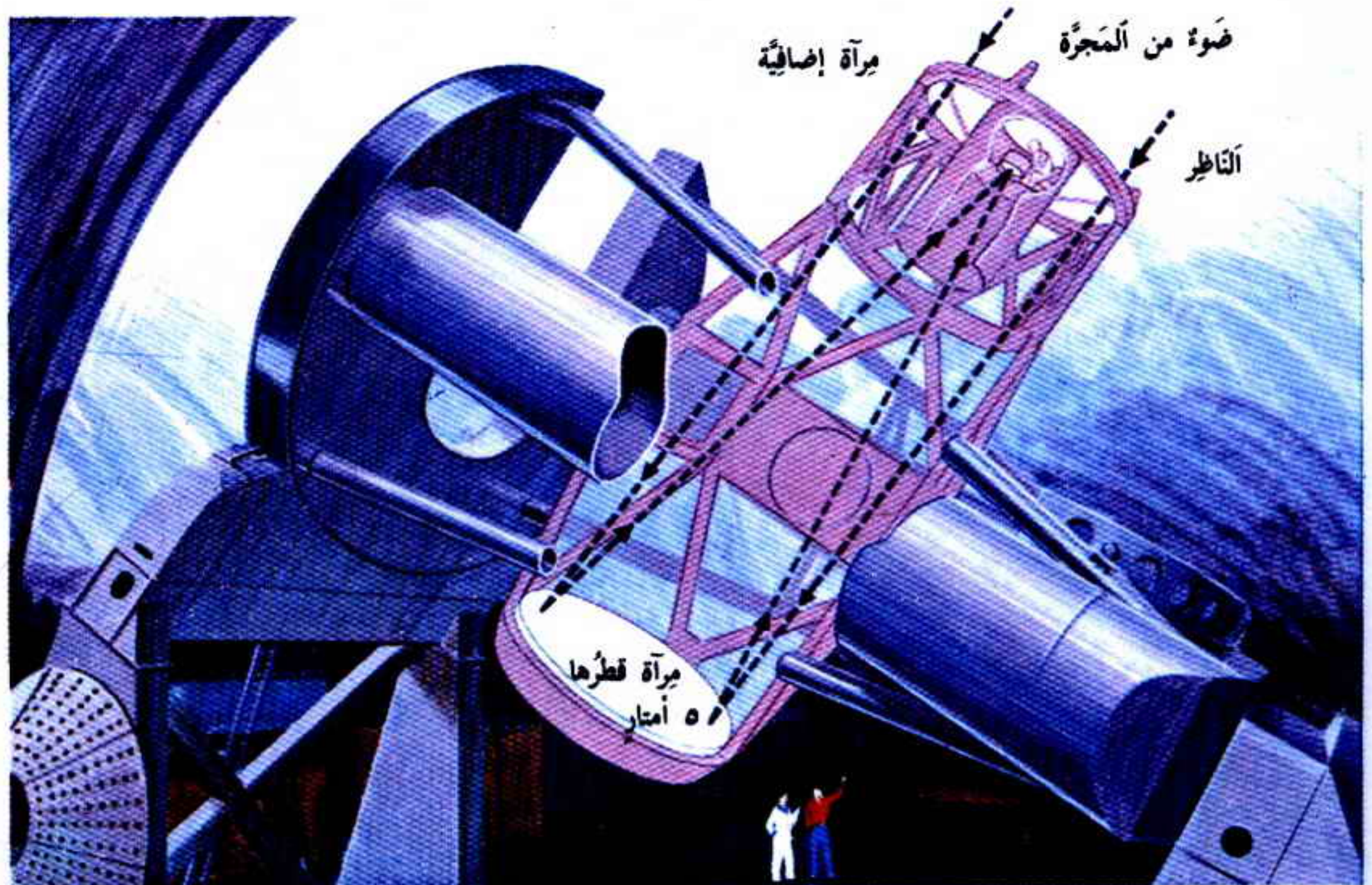
مِرآتانِ مُقَعَّرَتان
ٱلجِسْم
ٱلبُؤرَةُ
صُورةٌ مُصَغَّرَةٌ مَقلوبَةٌ

ٱلجِسمُ
ٱلبُؤرةُ
صُورةٌ مُصَغَّرَةٌ مُعتدِلَةٌ
مِرآةٌ مُحَدَّبَةٌ

ضَوءٌ من ٱلمَجرَّة
مِرآة إضافِيَّة
ٱلنّاظِر
مِرآة قُطرُها ٥ أمتار

إلى ٱليمين

مِرْقَبٌ (تِلِسكوب) فَلَكيٌّ يَستَخدِمُ مِرآةً مُكافِئيَّةَ ٱلمَقْطَعِ لِتَجمَعَ ٱلضَّوءَ مِنَ ٱلنُّجومِ في بُؤرةٍ صَغيرةٍ دقيقَةٍ. إنَّ ٱلصُّورةَ ٱلحاصِلةَ يُمكِنُ تَصويرُها فُوتوغرافيًّا كما يُمكِنُ ٱلنَّظَرُ إلَيها عَبْرَ عَدَسَةٍ تَزيدُ من تكبيرِها.

إلى اليمين

تعكِسُ صَفْحَةُ ٱلْبُحَيْرَةِ ٱلسَّاكِنَةِ صُورةً مِرآوِيةً دَقيقةَ المَعالِمِ لِلْمَباني والأشجارِ حَوْلَها. لكِنْ إذا هبَّتِ ٱلريحُ فَمَوَّجَت صَفْحَةَ ٱلماء تَهْتَزُّ ٱلصُّورةُ وتفقِدُ وضُوحَها وحِدَّةَ مَعالِمِها.

إلى اليمين

إذا وَجَّهْتَ حُزْمَةَ ٱلأشِعَّةِ ٱلمُنْبَعِثَةِ من مِصباحٍ كَشَّافٍ نَحْوَ سَطْحٍ مُسْتَوٍ صَقيلٍ تَبقى ٱلحُزْمَةُ ٱلمُنْعَكِسَةُ ضَيِّقَةَ القُطْرِ نوعًا، أمَّا إذا كانَ ٱلسَّطحُ خَشِنًا (غَيْرَ مُسْتَوٍ) فإنَّ ٱلضَّوْءَ ٱلمُنْعَكِسَ يَنْتَشِرُ في كُلِّ الأتجاهات. ولا يَتَنافَى هذا بِحالٍ معَ قانونَيِ الأنعِكاس.

سَطْحٌ خَشِن

سَطْحٌ مُسْتَوٍ

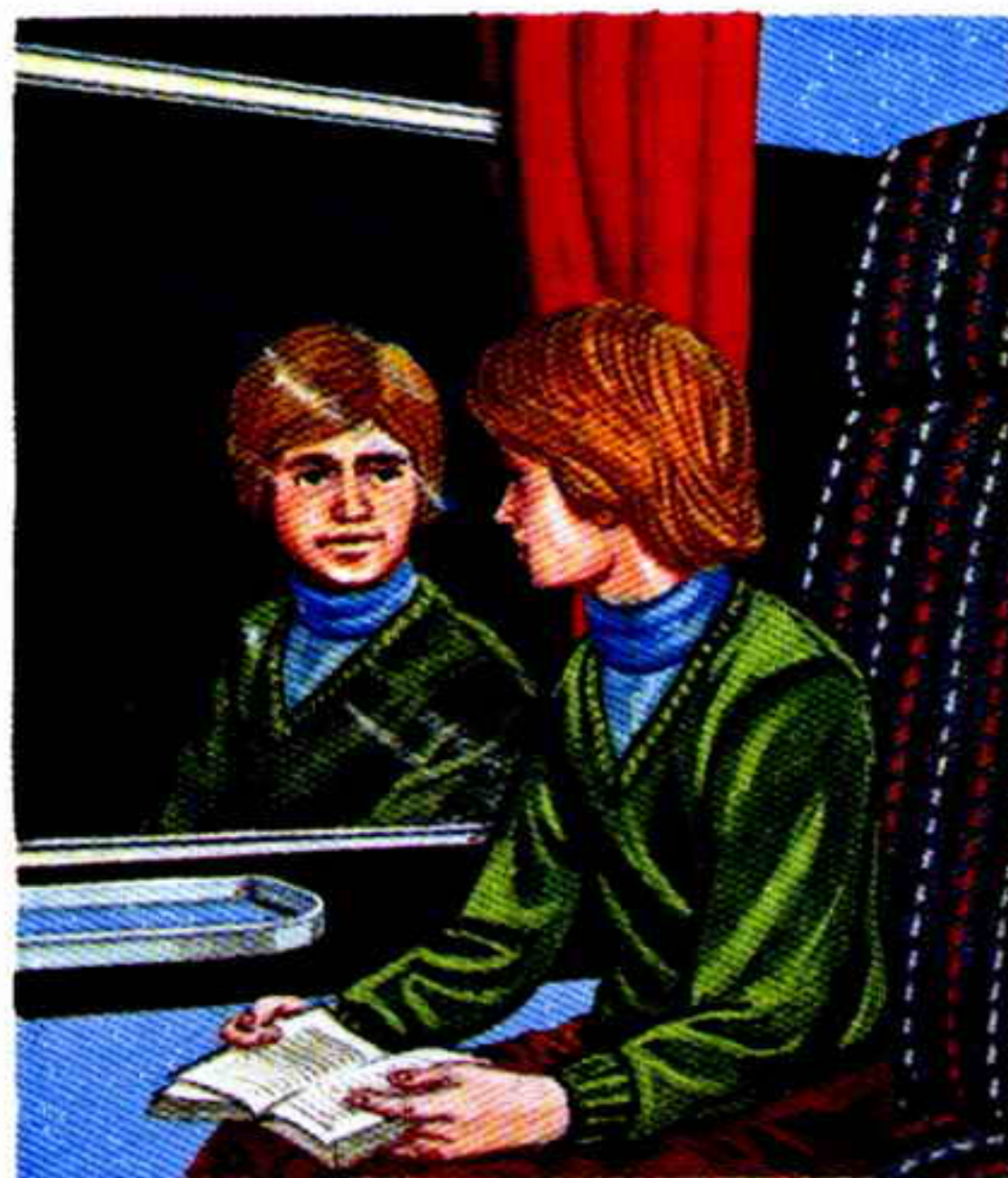
اَلسُّطوحُ ٱلعاكِسَةُ

لَيْسَتِ ٱلمِرآةُ ٱلمُفَضَّضةُ هيَ ٱلسَّطْحَ ٱلوَحيدَ ٱلقادِرَ على عَكسِ ٱلضَّوءِ، فَٱلَّذين يُجيدونَ ٱلسِّباحَةَ وٱلغَطْسَ تحتَ ٱلماءِ يَرَوْنَ أنَّ سَطحَ ٱلماءِ ساطِعٌ صقيلٌ كَسَطحِ ٱلمِرآةِ عِنْدَما يَنْظُرونَ إلَيهِ وهُمْ غاطِسُونَ تَحْتَهُ. وسبَبُ هذا ٱلسُّطوعِ عائد إلى الأنعِكاسِ ٱلدَّاخِليِّ لِلأشِعَّةِ ٱلضَّوئِيَّةِ عليْهِ وإلى ٱلسَّماءِ ٱلنَّيِّرَةِ فَوقَهُ. وهكَذا فإنَّ سَطْحَ ٱلماءِ بِٱلنِّسبةِ إلى ٱلغاطِسِ فيهِ يَعْمَلُ عمَلَ ٱلمِرآةِ.

كَذٰلِكَ يُمكِنُكَ رُؤيةُ الأنعِكاساتِ على سَطْحِ ٱلماءِ وأنْتَ تَنْظُرُ منَ ٱلهواءِ إلى ٱلماءِ، وتَعْتَمِدُ حِدَّةُ ٱلصُّورَةِ وَوُضوحُ مَعالِمِها على هُدوءِ ٱلسَّطْحِ. وحَتَّى على مَقْرُبَةٍ من ٱلشاطِئِ حَيْثُ سَطْحُ ٱلماءِ مُضطَرِبٌ بِٱلتَّمَوُّجاتِ، يُمكِنُكَ رُؤيةُ خَيالِ نَوْرَسٍ مُحَلِّقٍ أو طائرةٍ عابِرَةٍ فَوْقَهُ.

ويُمكِنُ صَقْلُ سُطُوحِ ٱلكَثيرِ منَ ٱلمَوادِّ لِجَعْلِها مِرآوِيَّةً قادِرةً على عكْسِ ٱلنُّورِ، لكِنَّ ٱلسُّطوحَ ٱلعاكِسَةَ ٱلمألُوفَةَ هيَ سُطوحُ ٱلفِلِزَّاتِ ٱلمَعْدِنِيَّةِ وٱلزُّجاجِ وٱلسَّوائلِ. ولَعَلَّ ٱلكَثيرينَ مِنَّا لاحَظُوا خيالاتِهم على ألواحِ زُجاجِ ٱلنَّوافِذِ في سَيَّارَةٍ أو قِطارٍ أو مَنْزِل، وٱنتَبَهُوا إلى أنَّ ٱلصُّورةَ أوْضَحُ وأحَدُّ إذا كانَ ٱلجانِبُ ٱلآخَرُ لِلَوْحِ ٱلزُّجاجِ مُظْلِمًا، فَلا تَتَشَوَّشُ ٱلصُّورةُ بِٱلضَّوءِ ٱلنَّافِذِ عَبْرَ ٱللَّوحِ. وكثيرًا ما تُعيقُ الأنعِكاساتُ

إلى اليَمين

يُمكِنُكَ رُؤيةُ صُورَتِكَ مُنْعَكِسَةً على زُجاجِ نافِذَةِ ٱلسَّيارةِ أو القِطارِ. وتَبْدُو ٱلصُّورةُ واضِحةً أكثرَ إذا كانَ ظَلامٌ خارِجَ ٱلنافِذَةِ.

إلى أسفَل

اَلحِيَلُ ٱلمَسْرَحِيَّةُ. صَفْحَةُ ٱلزُّجاجِ ٱلمُعتَرِضَةُ على ٱلمَسْرَحِ (وٱلَّتي لا تُرى لِشَفَّافِيَّتِها) تعكِسُ لِلشَمْعَةِ المُشْتَعِلَةِ أو ٱلجِسْمِ ٱلمَخْفِيِّ ٱلمُنارِ في جَناحِ ٱلمَسْرَحِ، أمامَ خَلْفِيَّةٍ سَوداء، صُورةً على ٱلمَسْرَحِ أمامَ ٱلنَّظَّارة. فإذا كان بُعْدُ قِنِّينَةِ ٱلماءِ خَلْفَ صَفحةِ ٱلزُّجاجِ مُساوِيًا لِبُعْدِ الشَّمعةِ أمامَها فإنَّ صُورَةَ الشَّمعةِ ٱلمشْتَعِلَةِ سَتَظْهَرُ داخِلَ قِنِّينَةِ ٱلماءِ.

وبِٱلطَّريقةِ نَفْسِها يُمكِن تَمثيلُ ٱلأشباحِ ٱلغريبَةِ على المَسْرحِ.

على أَلْواحِ نَوافِذِ ٱلعَرْضِ ٱلزُّجاجيَّةِ رُؤْيةَ ٱلمَعْرُوضاتِ بِداخِلها، لِذا يَعْمَدُ بَعْضُ أَصحابِ ٱلحوانيتِ وَدُورِ ٱلعَرْضِ إلى ٱستِخْدامِ أَلْواحٍ زُجاجيَّةٍ مُقَوَّسَةٍ بِشَكْلٍ خاصٍّ لِنَوافِذِ ٱلعَرْضِ في مَحَلَّاتِهم. وهٰذِهِ ٱلأَلْواحُ تَعْكِسُ ضَوءَ ٱلشَّمسِ وأَنوارَ ٱلشّارِعِ بحَيْثُ لا تُشَوِّشُ مَنْظَرَ ٱلمَعروضاتِ لِلْمُشاهِدين.

إنَّ جَميعَ ٱلمَوادِّ تَعْكِسُ بَعْضَ ٱلضَّوءِ، لكِنْ ما لَمْ تَكُنْ سُطوحُها مَلْساءَ صَقيلَةً فإنَّ ٱلضَّوءَ ٱلمُنْعَكِسَ يَتَشَتَّتُ في كُلِّ ٱلاتِّجاهاتِ. فَغُرَفُ ٱلمَنازِلِ مَثَلًا نَيِّرَةٌ في ٱلنَّهارِ حَتَّى ولَو لَمْ تَسْطَعِ ٱلشَّمْسُ عَلَيْها مُباشَرَةً، لأنَّ ٱنعِكاساتِ نُورِ ٱلشَّمسِ ٱلمُتَناثِرَةَ في ٱلجَوِّ وعلى ٱلسُّحُبِ وٱلأَرضِ ومن كُلِّ ٱتِّجاهٍ تَنْشُرُ ٱلضَّوءَ في ٱلمَباني عَبْرَ ٱلنَّوافِذِ وٱلأَبوابِ ٱلمَفْتُوحَةِ. وفي ٱلغُرْفَةِ نَفْسِها تَعْكِسُ جُدْرانُ ٱلغُرْفَةِ وأَرضُها وسَقْفُها وكُلُّ ما فِيها ٱلنُّورَ في شَتَّى ٱلاتِّجاهاتِ، وهذا يَجْعَلُ تَوَزُّعَ ٱلنُّورِ سَوِيًّا (عَديمَ ٱلتَّبايُنِ)، ويَمْنَعُ حُدُوثَ ٱلظِّلالِ ٱلحادَّةِ ٱلتي نَراها في ٱلأَيّامِ ٱلمُشْمِسَةِ.

عِنْدما يَسْقُطُ ٱلضَّوءُ على سَطْحِ وَسَطٍ شَفّافٍ يَنْعَكِسُ بَعضُه، لكِنَّ ٱلجُزْءَ ٱلأكبَرَ مِنَ ٱلضَّوءِ يَنْفُذُ خِلالَ ٱلمادَّةِ ٱلشفّافة. ويَنْطَبِقُ ٱلشيءُ نَفْسُه على ٱلسَّطحِ ٱلآخَرِ لِلمادَّةِ ٱلشفّافة، إذْ يَنْعَكِسُ بَعْضُ ٱلضَّوءِ داخِلَ ٱلجِسْمِ ٱلشفّافِ ويَنْفُذ ٱلباقي عَبْرَه. وإذا كانت زاوِيَةُ سُقُوطِ ٱلضوءِ على هذا ٱلسَّطحِ أكْبَرَ من **ٱلزّاوِيَةِ ٱلحَرِجَةِ** فإنَّ ٱلضوءَ كلَّه ينعكِسُ ولا يَنْفُذُ مِنْه شيءٌ. ويُسَمّى هذا **ٱنعِكاسًا تامًّا داخِليًّا**.

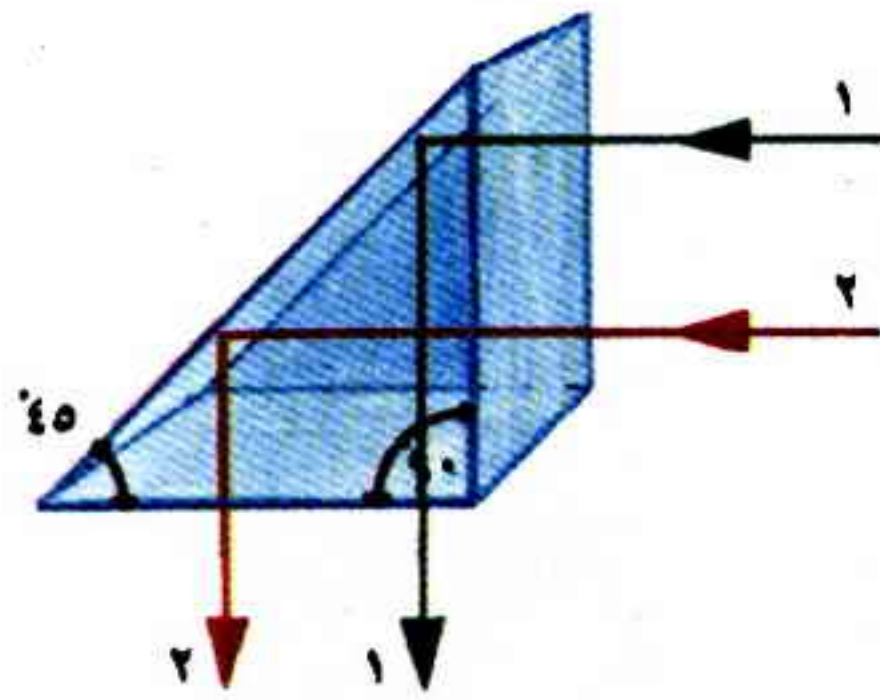
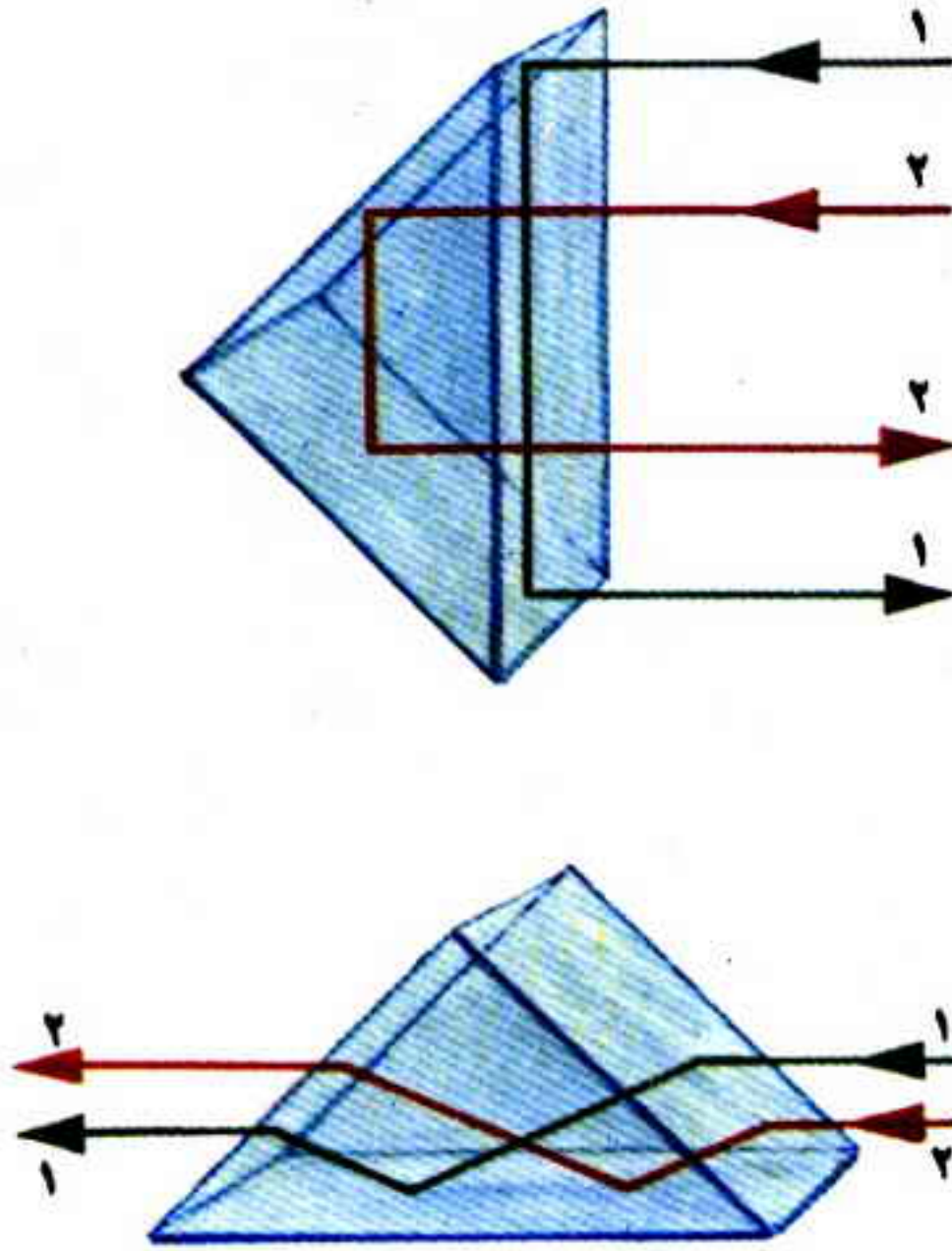
وتُسْتَغَلُّ ظاهِرةُ ٱلانعِكاسِ ٱلتامِّ ٱلدّاخِليِّ في ٱلمَوشُورِ ٱلزُّجاجيِّ للاستِفادةِ مِنْهُ كَسَطْحٍ مِرآويٍّ عاكِسٍ. وهُو أَفضَلُ من ٱلمِرآةِ ٱلعادِيَّةِ لأنَّ لا سَطْحَ مَعْدِنيًّا فِيهِ يَتَعَرَّضُ لِلتَّلَفِ. وتُسْتَخْدَمُ ٱلمَوشوراتُ لِهذا ٱلغَرَضِ في مِنْظارِ ٱلمَيْدانِ ومِئْفاقِ ٱلغَوّاصةِ (ٱلپريسكوب).

وٱلمِئْفاقُ يُمَكِّنُكَ من رُؤيَةِ ٱلأَشياءِ ٱلَّتي لَيْسَتْ في خَطِّ ٱلبَصَرِ مُباشَرَةً. وبِإمكانِكَ صُنْعُ مِئْفاقٍ بَسيطٍ بِٱستِخدامِ مِرآتَيْنِ مُسْتَوِيَتَيْنِ (بدَلَ ٱلمَوْشُورَيْنِ). ثَبِّتِ ٱلمِرآتَيْنِ مُتَواجِهَتَي ٱلسَّطْحَيْنِ في طَرَفَي أُنبوبٍ بحَيْثُ تَميلُ ٱلمِرآةُ عن ٱلعَمُودِيِّ بِزاوِيةٍ مِقدارُها ٤٥°. وتَستطيعُ بِهذا ٱلمِئفاقِ ٱلرؤيةَ عَبْرَ ٱلمُنْعَطَفاتِ أَوْ مِنْ فوقِ رُؤوسِ جُمْهُورٍ حاشِدٍ.

ويَنْطَوي ٱلكَثيرُ من ٱلحِيَلِ ٱلمَسْرَحِيَّةِ على ٱستِخْدامِ ظاهِرةِ ٱلانعِكاسِ، كأنْ يُمَثِّلَ على ٱلمَسْرَحِ شَبَحٌ يَخْتَرِقُ ٱلسِّتارةَ أَو أن يَرى ٱلنَّظّارةُ شَمْعَةً تَشْتَعِلُ داخِلَ قِنِّينَةِ ماءٍ.

إلى ٱليمين

ٱلانعِكاسُ ٱلتامُّ ٱلدّاخِليُّ في ٱلمَوْشُورِ. يُمكِنُ عَكْسُ ٱلشُّعاعِ ٱلضَّوئيِّ ٱلسّاقِطِ على ٱلمَوْشُورِ لِتَغْييرِ ٱتِّجاهِهِ ٩٠ درجةً (كما في ٱلمِئفاق) أو ١٨٠° دَرَجَةً لِيَرْجِعَ في ٱلاتِّجاهِ ٱلَّذي وَرَدَ مِنْهُ، أو لِمجَرَّدِ قَلْبِ ٱلحُزْمَةِ ٱلضَّوئيَّةِ رأسًا على عَقِبٍ.

١ ٢ ٤٥° ٩٠°

إلى أسفل

لِصُنْعِ نَمُوذجِ ٱلمِئفاقِ قُصَّ طَرَفَي أُنبوبٍ كَبيرٍ من ٱلوَرقِ ٱلمُقَوّى كما هُو مُبَيَّنٌ، في جانِبَيْنِ مُتَقابِلَيْنِ ثُمَّ غَطِّ نِهايَتَي ٱلأنبوبِ وثَبِّتْ في كُلٍّ منهُما مِرآةً صَغيرةً مُستَوِيَةً لِتَميلَ عن ٱلخَطِّ ٱلعَمُوديِّ بمقدار ٤٥°. اِضبِطْ وضْعَ ٱلمِرآتَيْنِ ٱلزّاوِيَّ حَتّى تَرى في ٱلسُّفْلى مِنْهُما صُوَرَ أجسامٍ ٱنعكَسَتْ في ٱلمِرآةِ ٱلعُليا. اِستَخْدِمْ شريطًا لاصِقًا لإبْقاءِ ٱلمِرآتَيْنِ في هٰذا ٱلوضعِ، ويُصْبِحُ مِئفاقُكَ جاهِزًا لِلتَّجْرِبَةِ.

وَرَقٌ مُقَوًّى لِتَغْطِيةِ طَرَفَي ٱلأُنبوب

قِطْعَةُ طِينٍ لَدائنيٌّ (بلاستيسين) لِضَبْطِ زاوِيَةِ مَيْلِ ٱلمِرآة

مِرآةُ ٱلطَّرَفِ ٱلعُلْويِّ تَميلُ ٤٥° بِٱلنِّسبةِ لِمِحْوَرِ ٱلأُنبوبِ ويَتَّجِهُ سَطْحُها ٱلصَّقيلُ إلى أسْفَل

قُصَّ طَرَفَي أُنبوبِ ٱلوَرَقِ ٱلمُقَوّى هكَذا

٤٥° ٩٠°

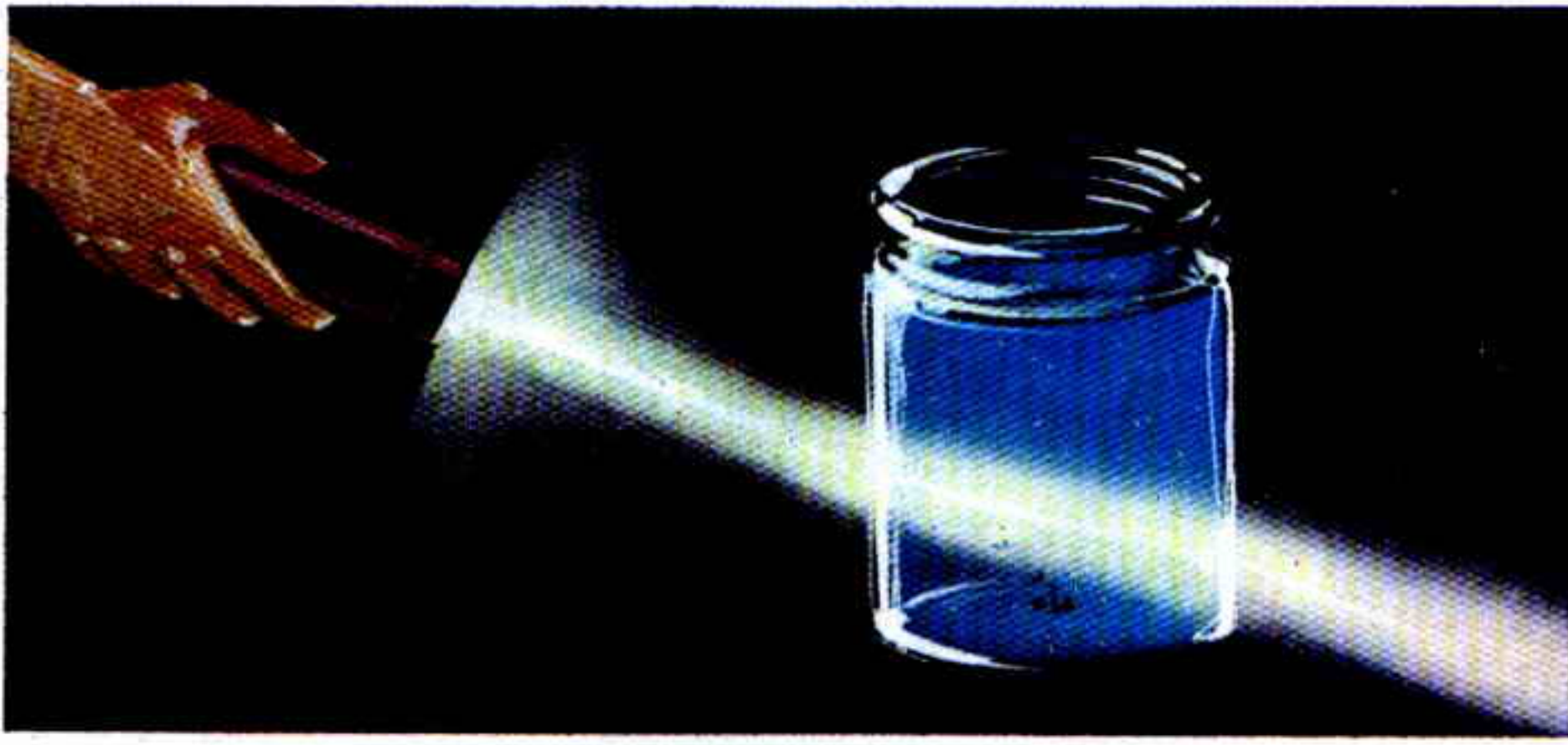
اِنكِسارُ اَلضَّوءِ

ضَعْ مِلْعَقَةً أو قَلَمًا في مَرْطَبانٍ مَلِيءٍ بالْماءِ وٱنظُرْ إلَيْهِ من زَوايا مُخْتَلِفَةٍ فتُلاحِظَ ٱنحِناءَهُ في بَعْضِ ٱلحالاتِ بَيْنَ ٱلماءِ وٱلهواءِ. ولَوْ وَجَّهْتَ حُزْمَةً ضَوئيَّةً ضَيِّقَةً من مِصباحٍ كشَّافٍ إلى ٱلمَرطبانِ في غُرفةٍ مُعْتِمَةٍ، تُلاحِظُ ٱنْحِناءَ حُزْمَةِ ٱلضَّوءِ عِنْدَ مُرورِهِ من ٱلهواءِ إلى ٱلماءِ (وٱنحِناءً مُعاكِسًا عِنْدَ خُروجِ ٱلضوءِ من ٱلماءِ إلى ٱلهواءِ). هذا الأنحِناءُ في ٱلتَّجرِبَتَيْنِ يُسَمَّى **ٱنكِسار ٱلضَّوءِ**.

تَخْتَلِفُ سُرعَةُ ٱلضَّوءِ في ٱلمَوادِّ ٱلشَّفَّافَةِ، وهذا يُسَبِّبُ ٱنكِسارَ ٱلضَّوءِ عِنْدَ ٱنتِقالِهِ من وَسَطٍ لِآخَرَ. وَتأَلُّقُ سَطْحِ ٱلطَّريقِ ٱلمُعَبَّدِ، ٱلَّذي يَبْدُو به ٱلسَّطحُ وكأنَّهُ مُبْتَلٌّ بالماءِ في يَوْمٍ حارٍّ، سَبَبُهُ سُرْعَةُ ٱلضَّوءِ ٱلأزْيَد في طَبَقَةِ ٱلهواءِ ٱلحارِّ ٱلملاصِقَةِ لِلطَّريقِ عَلى سُرْعَتِهِ في طَبَقَةِ ٱلهَواءِ ٱلأَعلى. ويُمْكِنُكَ إحداثُ مِثْلِ هٰذا ٱلتَّألُّقِ أو ٱلوَهَجِ في ٱلبَيْتِ بِتَسْليطِ نُورِ ضَوءٍ كاشِفٍ على ٱلحائِطِ من فَوقِ شَمْعَةٍ مُشْتَعِلَةٍ. إنَّ ٱلخيالاتِ ٱلمُتراقِصَةَ على ٱلحائطِ سبَبُها تبايُنُ سُرعَةِ ٱلضَّوءِ في طَبَقَةِ ٱلهَواءِ ٱلسَّاخِنِ فوقَ ٱلشَّمعةِ عَنْها في ٱلهَواءِ ٱلمُحيطِ.

ذَوِّبْ مِلْعَقَةَ سُكَّرٍ في كَمِّيَّةٍ قَليلةٍ من ٱلماءِ ٱلسَّاخِنِ وٱسكُبِ ٱلمَحلولَ في مَرطَبانِ ماءٍ ولاحِظْ تَدويمَ ٱلمَحلولِ ٱلسُّكريِّ وهو يتَّخذُ طريقَهُ إلى قَعْرِ ٱلمَرْطَبانِ. إنَّ حَرَكَةَ ٱلمَحلولِ ٱلشَّفَّافِ ٱلمُرَكَّزِ داخلَ ٱلماءِ تَظْهَرُ لأنَّ سُرْعَةَ ٱلضَّوءِ في ٱلمَحلولِ ٱلمُرَكَّزِ أبطأُ مِنها في ٱلماءِ ٱلنَّقِيِّ.

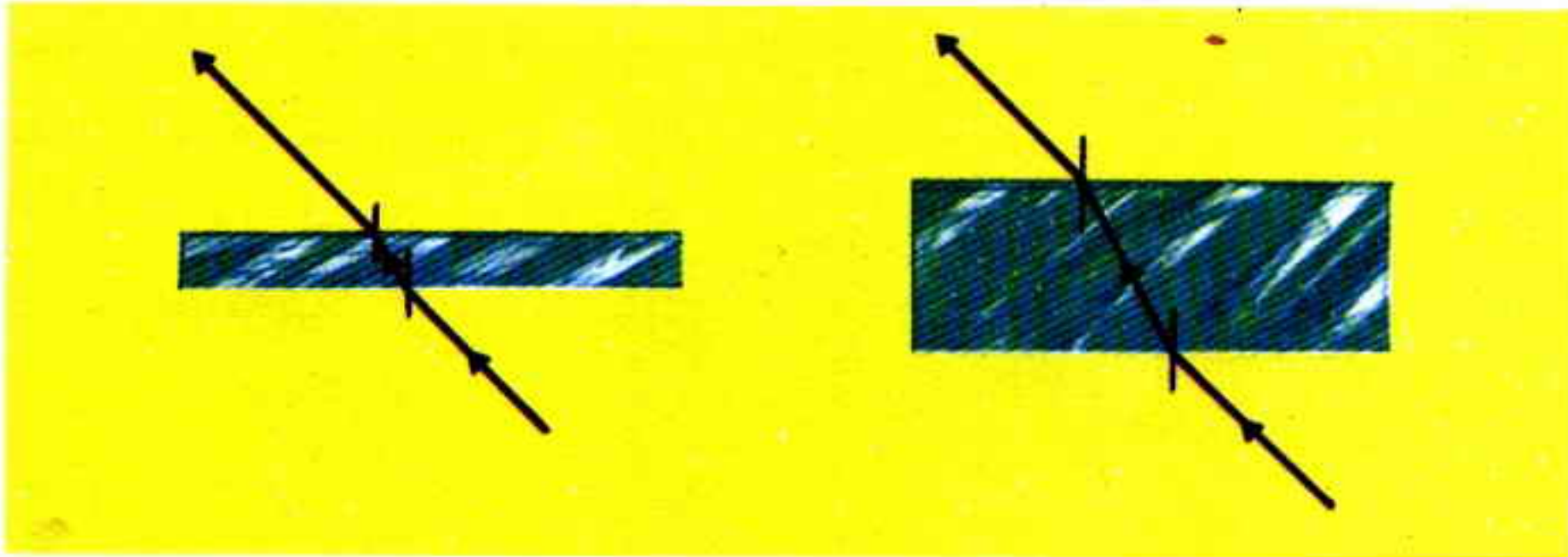
إنَّ سَبَبَ ٱنكِسارِ ٱلضَّوءِ هُو تَبايُنُ سُرْعَةِ ٱلضَّوءِ في ٱلموادِّ ٱلمُخْتَلِفَةِ. فعِنْدَ ٱنتِقالِ ٱلضَّوءِ من وَسَطٍ قَليلِ ٱلكَثافَةِ (كالْهَواءِ) إلى وسَطٍ أكثرَ كَثافَةً (كالْماءِ) يَنْحَني (أو يَنْكَسِرُ) نَحْوَ ٱلخَطِّ ٱلعَمُوديِّ. وٱلعَكْسُ أَيْضًا صَحيحٌ، فالضَّوءُ ٱلمُنتَقِلُ من ٱلزُّجاجِ إلى ٱلهواءِ يَنْحَني بَعيدًا عن **ٱلخَطِّ ٱلعَموديِّ** بٱلنِّسبةِ لِلسَّطْحِ ٱلكاسِرِ. وٱنكِسارُ ٱلضَّوءِ يَتِمُّ دائمًا بِنِسْبَةٍ ثابِتَةٍ تَعْتَمِدُ على زاوِيَةِ سُقوطِ ٱلضَّوءِ على سَطْحِ ٱلمادَّةِ وعلى ٱلمادَّةِ نَفْسِها.

ويَدُلُّنا **مُعامِلُ الانكِسارِ** لِلمادَّةِ على ٱلنِّسْبَةِ ٱلَّتي تَبْطُؤُ بها سُرعةُ ٱلضَّوءِ في ٱلمادَّةِ بٱلنِّسبَةِ لِلْهَواءِ، وبٱلتَّالي على مِقْدارِ الأنكِسارِ ٱلحاصِلِ. ومُعامِلُ الأنكِسارِ هُو لِلزُّجاجِ ١،٥ وللماءِ ١،٣، وإجْمالًا كُلَّما ٱزدادَتْ كثافَةُ ٱلمادَّةِ يَزْدادُ مُعامِلُ ٱنكِسارِ ٱلضَّوءِ فِيها.

فَوقُ

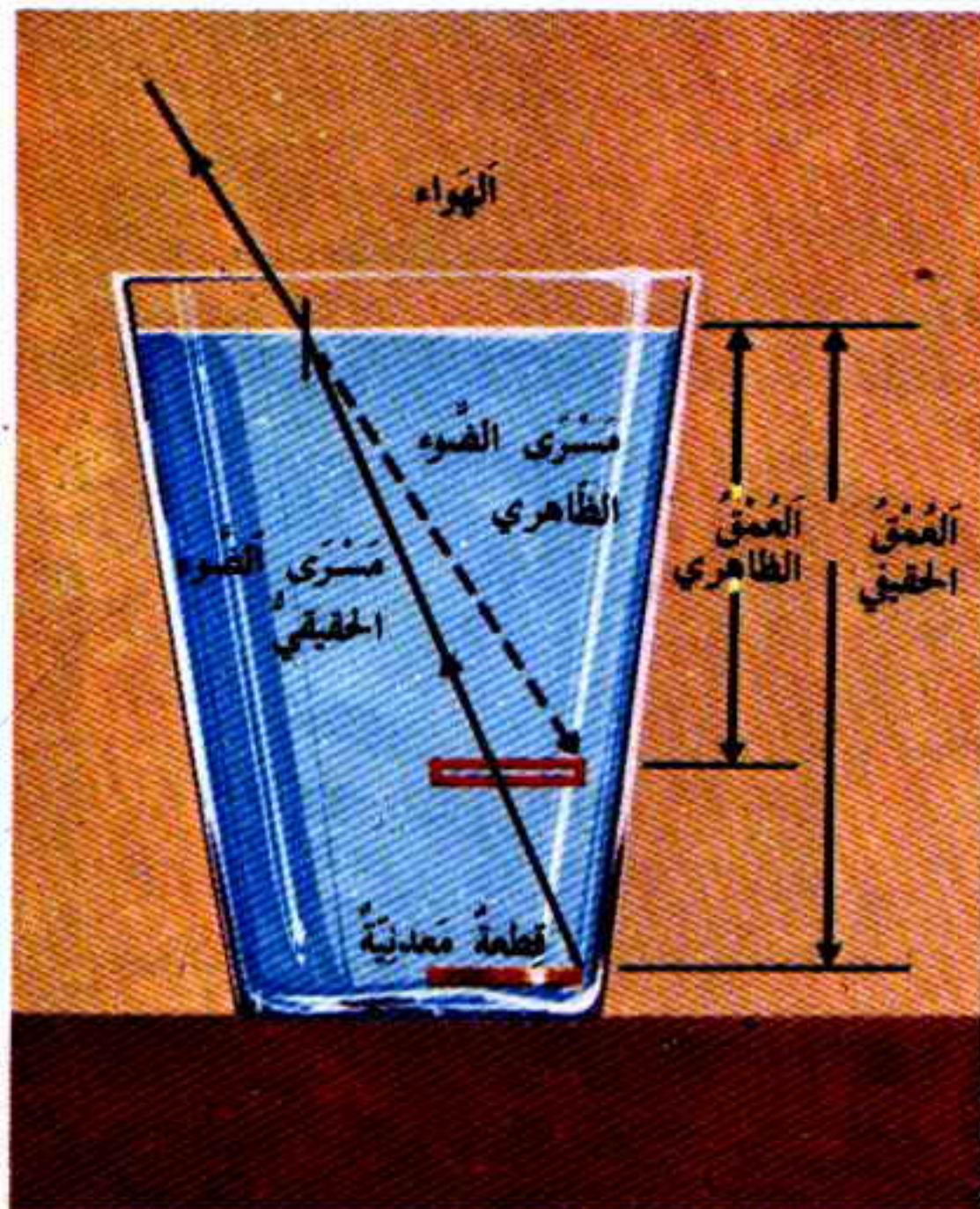
تَنكَسِرُ حُزْمَةُ ٱلأَشِعَّةِ إلى أعلى (نَحْوَ ٱلخَطِّ ٱلعَمُوديِّ) قَليلًا عِنْدَ ٱنتِقالِها مِنَ ٱلهَواءِ إلى ٱلماءِ، وتَنكَسِرُ إلى أسْفَل (بَعيدًا عن ٱلخَطِّ ٱلعَمُوديِّ) قَليلًا عِنْدَ ٱنْتِقالِها من ٱلماءِ إلى ٱلهَواءِ. وبذلِكَ تَسْتَعيدُ ٱلحُزْمَةُ ٱتِّجاهَها ٱلأصليَّ.

إلى ٱليَمينِ

عِنْدَ صَبِّ مَحلُولٍ سُكَّرِيٍّ مُرَكَّزٍ ساخِنٍ (مُلَوَّنٍ بقَليلٍ من ٱلقَهْوَةِ) في مَرْطَبانِ ماءٍ تُلاحَظُ ٱلحركَةُ ٱلدَّوَّامِيَّةُ لِلمَحْلولِ ٱلأكثَفِ ٱلغاطِسِ، لأنَّ سُرْعَةَ ٱلضَّوءِ فيهِ أقَلُّ من سُرعَتِهِ في ٱلماءِ ٱلنقِيِّ. وَٱنحناءُ ٱلضَّوءِ بالأنكِسارِ في ٱلمحلولِ المُرَكَّزِ يُسَبِّبُ هٰذِهِ ٱلظَّاهِرَةَ.

فَوقُ

عِند ٱنتِقالِ شُعاعٍ ضَوئيٍّ من وَسَطٍ قَليلِ الكثافَةِ (كٱلهَواءِ) إلى وَسَطٍ أكْثَفَ (كالزُّجاجِ) يَنْحَني نَحْوَ ٱلخَطِّ ٱلعَمُوديِّ، وعِنْدَ خُروجِهِ من ٱلوسَطِ ٱلأكثَفِ إلى الأقَلِّ كثافَةً يَنْحَني بَعيدًا عن ٱلخَطِّ ٱلعَمُوديِّ. وإذا كانَ سَطْحا ٱلزُّجاجِ مُتَوازِيَيْنِ فإنَّ ٱلشُّعاعَ ٱلخارِجَ يكونُ مُوازِيًا لِلشُّعاعِ ٱلدَّاخِلِ لكِنَّهُ يَتزاحُ جانِبًا. وتَعتَمِدُ هٰذِهِ ٱلإزاحَةُ ٱلجانِبِيَّةُ على ثَخانَةِ ٱلزُّجاجِ.

إلى ٱليمينِ

تَبْدُو قِطعَةُ ٱلنَّقْدِ ٱلمَعْدِنِيَّةُ أقَلَّ عُمْقًا مِمّا هي عَلَيْهِ في ٱلحَقيقَةِ. وذلكَ لأنَّ ٱلشُّعاعَ ٱلمُنكَسِرَ يَبْدُو لِلْعَيْنِ، على استِقامتِه، صادِرًا من نُقْطَةٍ أقْرَبَ إلى ٱلسَّطْحِ. وبِقِسْمَةِ ٱلعُمْقِ الحَقيقيِّ على ٱلعُمْقِ الظَّاهِرِيِّ تَحْصُلُ على مُعامِلِ الأنكِسارِ لِلماءِ (١،٥).

إلى اليسارِ

بِفِعْلِ الأنعِكاسِ تَرى ٱلسَّمكَةُ الصَّيّادَ وضِفَّةَ ٱلنَّهرِ بِوُضوحٍ. وٱلصيّادُ يَرى ٱلسَّمكَةَ أيْضًا ، ولكِنَّها تَبْدُو لَهُ أبْعَدَ عنِ ٱلضِّفَّةِ ممَّا هِيَ علَيْهِ فِعْلاً ، ولعَلَّ في ذلكَ مَنْجاةً لَها .

أسْقِطْ قِطعَةَ نقْدٍ مَعْدِنيَّةً في مَرْطَبانٍ أو كُوبِ ماءٍ وٱنظُرْ إلَيْها من فَوقُ. حاوِلْ أن تضَعَ إشارةً بقَلَمٍ أو طَبْشُورةٍ على جِدارِ ٱلكُوبِ مُقابِلَ ٱلمُستَوى ٱلَّذي تَبْدُو لكَ قِطعةُ ٱلنَّقْدِ فِيه ، وستَجِدُ أنَّ ٱلقِطعةَ هي في ٱلواقِعِ دُونَ ٱلمُستَوى ٱلَّذي بدَتْ لكَ فِيه ، وذلكَ عائدٌ لأنكِسارِ ٱلضَّوءِ . وللسَّبَبِ نَفْسِه تَبْدُو ٱلبِرَكُ وٱلأَنهارُ أقَلَّ عُمْقًا ممَّا هي عَلَيْهِ في ٱلحَقيقة .

إنَّ سبَبَ تَحلُّلِ ٱلضَّوءِ إلى ألوانِ ٱلطَّيفِ بواسِطَةِ ٱلموشُورِ أو قَطَراتِ ٱلماءِ (أُنظُرْ صفحة ١١٢) هوَ أنَّ ٱلألوانَ ٱلمُختَلِفَةَ ٱلمؤلِّفَةَ لِلضَّوءِ ٱلأبيضِ تنكَسِرُ بِنِسَبٍ مُتفاوِتةٍ . فٱلضَّوءُ ٱلبنَفسَجِيُّ أكثَرُها ٱنكِسارًا وٱلأحْمَرُ أقَلُّها عِندما يَنْتَقِلُ ٱلضَّوءُ من ٱلهواءِ إلى ٱلماءِ أو ٱلزُّجاجِ .

وفي قَوْسِ ٱلقُزَحِ تَنْكَسِرُ أشِعَّةُ ٱلشَّمسِ ٱلنافِذَةُ في قطراتِ ٱلماءِ ثُمَّ تَنْعَكِسُ بداخِلِها ، وتنكَسِرُ ثانِيَةً وهِيَ تَنفُذُ مِنْها . ويَعْتَمِدُ لَوْنُ ٱلضَّوءِ ٱلذي يَراهُ ٱلنَّاظِرُ على ٱلزَّاوِيَةِ ٱلَّتي يَنْظُرُ بها إلى نِقاطِ ٱلماءِ في ٱلجَوِّ .

إلى أسفل

يَنكَسِرُ ٱلشُّعاعُ ٱلسَّاقِطُ على نُقْطَةِ ٱلماءِ ويَتحَلَّلُ ٱلضَّوءُ الأبيضُ بِذلِكَ إلى ألوانِه ، إذ إنَّ ٱلضَّوءَ الأزرَقَ يَنكَسِرُ أكثَرَ من باقي ألوانِ الطَّيفِ وٱلأحْمَرَ أقَلُّها ٱنكِسارًا . وتَنْعَكِسُ ٱلألوانُ المُنحَلَّةُ داخِلَ ٱلقَطرَةِ ثم تنكَسِرُ ثانِيَةً وَهِيَ تَخْرُجُ مِنْها .

اَلعَدَسات

اَلعدَسَةُ قِطْعَةٌ من اَلزُّجاج (أو مِنْ مادَّةٍ شَفَّافَةٍ أخرى) ذاتُ تكَوُّرٍ في أَحَدِ سَطْحَيْها أو كِلَيْها تُحْدِثُ **انكِسارًا** في اَلأشِعَّةِ اَلضَّوئِيَّةِ اَلسَّاقِطَةِ على أَحَدِ وجهَيْها. وتُستَخْدَمُ العدَسَةُ اَلمُحَدَّبَةُ **لِتَجْميعِ** اَلأشِعَّةِ اَلضَّوئِيَّةِ والعَدَسَةُ المُقعَّرَةُ **لِتَفْريقِها**.

عِنْدَ نُفُوذِ أشِعَّةِ اَلضَّوءِ إلى اَلزُّجاجِ تنْحَني نَحْوَ اَلخَطِّ اَلعَموديِّ (بالنِّسبةِ لِسَطْحِ اَلزُّجاجِ)، وهِيَ تَنْحَني بَعيدًا عنِ اَلخَطِّ اَلعَموديِّ عِنْدَ خُرُوجِها مِنْه.

ويَعْتَمِدُ مَسارُ اَلأَشِعَّةِ اَلفِعْلِيُّ عَبْرَ اَلعَدسَةِ (إنْ كانَ لَمًّا أو تفريقًا) على شَكْلِها. ونَوعا اَلعَدَساتِ اَلرَّئيسِيَّانِ هُما اَلعَدَساتُ **اَلمُحَدَّبَةُ** – وهِيَ أسْمَكُ في وسَطِها مِنْها في أطْرافِها، والعَدَساتُ **اَلمُقَعَّرَةُ** – وهي أسْمَكُ في أطْرافِها مِنْها في وَسَطِها.

إذا سَقَطَتْ حُزْمَةٌ من اَلأشِعَّةِ اَلضَّوئِيَّةِ اَلمُتوازِيَةِ على عَدَسَةٍ مُحَدَّبَةٍ فإنَّها تُجمَّعُ في نُقطَةٍ هي **بُؤرَةُ اَلعَدَسَةِ** اَلمُحَدَّبَةِ. أمَّا إذا سَقَطَتْ هٰذِهِ اَلحُزْمَةُ على عَدَسَةٍ مُقَعَّرَةٍ فإنَّها تُفَرَّقُ كَما لَو أنَّها صادرةٌ عَن **بُؤرَةٍ تَقديريَّةٍ** لِلْعدسَةِ. وفي كِلا اَلحالَيْنِ تُسَمَّى اَلمَسافَةُ بين مَرْكَزِ اَلعَدَسَةِ واَلبُؤرَةِ اَلبُعْدَ اَلبُؤرِيَّ.

تُسْتَخدَمُ اَلعَدَسَةُ اَلمُحَدَّبَةُ كَعَدسةٍ مُكَبِّرَةٍ. فإذا وُضِعَ جِسْمٌ بينَ اَلعدسَةِ وبُؤرَتِها يَرى اَلنَّاظِرُ مِنَ اَلجِهَةِ اَلأُخرى لِلْعَدَسَةِ صُورَةً مُكَبَّرَةً لِلْجِسْمِ على بُعْدٍ يَزيدُ عَن بُعْدِ اَلجِسْمِ اَلفِعْلِيِّ عَنْها. أمَّا إذا وُضِعَ اَلجِسْمُ على بُعْدٍ من اَلعدسَةِ يزيدُ عَنْ بُعْدِها اَلبُؤريِّ فإنَّكَ لَنْ تَرى لَهُ صُورَةً، لكِنْ يُمكِنُكَ تَلَقّي صُورة حقِيقيَّةٍ لَهُ (مَقْلُوبَةٍ رأسًا على عقب) على وَرَقَةٍ أو سِتارةٍ في اَلجِهَةِ اَلأُخْرى من اَلعَدَسَةِ، خاصَّةً إذا كانَ اَلجِسْمُ مُنيرًا أو جَيِّدَ اَلإضاءَةِ. وفي حالَةِ اَلعَدَسَةِ اَلمُقَعَّرَةِ تكُونُ صُورَةُ اَلجِسْمِ تَقْديريَّةً مُعْتَدِلَةً (غَيْرَ مَقْلُوبَةٍ) مُصَغَّرَةً وفي نَفْسِ اَلجِهَةِ اَلَّتي فيها اَلجِسْمُ.

لِتَحديدِ مَوْقِعِ اَلصُّورةِ من اَلعَدَسَةِ تُرْسَمُ **مُخَطَّطات**

فوق

تُجمِّعُ اَلعَدَسَةُ اَلمُحَدَّبَةُ اَلأشِعَّةَ اَلضَّوئِيَّةَ اَلمُتوازِيَةَ اَلسَّاقِطَةَ عَلَيْها في نُقطةٍ هِيَ بُؤرَةُ اَلعَدَسَةِ. أمَّا اَلعَدسَةُ اَلمُقَعَّرَةُ فإنَّها تُفَرِّقُ هٰذِه اَلأشِعَّةَ بحيثُ تَبْدُو وكأنَّها صادِرَةٌ عَن بُؤرَةٍ تَقْديريَّةٍ لِلعَدَسَةِ.

إلى أسفل

مُخَطَّطا أشِعَّةٍ، يُبيِّنُ أوَّلُهُما صُورةَ اَلجِسْمِ اَلتَّقديريَّةَ – عِنْدَما يكُونُ اَلجِسْمُ بينَ العَدَسَةِ والبُؤرَةِ – كما تَبْدُو لِلنَّاظِرِ مِنَ اَلجِهَةِ اَلأخرى لِلعَدَسَةِ اَلمُحَدَّبَةِ، ويُلاحَظُ أنَّ اَلصُّورةَ مُكَبَّرَةٌ ومُعْتَدِلَة وعلى نَفْسِ اَلجِهَةِ اَلَّتي فيها اَلجِسْمُ. أمَّا إذا كانَ اَلجِسمُ على بُعدٍ يَزيدُ عَن اَلبُعْدِ اَلبُؤريِّ فَالنَّاظِرُ لا يَرى اَلصُّورةَ، لكِنْ يُمكِنُه تلَقِّيها على وَرَقَةٍ في اَلجِهَةِ اَلأخرى مِنَ اَلعَدَسَةِ بالنِّسبَةِ لِلْجِسْمِ، كما يبدُو في مُخَطَّطِ الأشِعَّةِ اَلثَّاني. وتكونُ اَلصُّورةُ مَقْلُوبَةً وحقيقيَّةً. وهِيَ مُكَبَّرةٌ إذا كانَ بُعْدُ اَلجِسْمِ أقلَّ من ضِعْفَيِ اَلبُعْدِ اَلبُؤريِّ ومُصَغَّرةٌ إن تَجاوَزَ ذلكَ اَلبُعْدَ.

إلى أسفَل (أقصى اليَسار)

حَيْثُما يُوضَعُ اَلجِسْمُ بِالنِّسبةِ إلى العَدَسَةِ المُقَعَّرةِ فإنَّ اَلنَّاظِرَ إليه من اَلجِهَةِ اَلأُخرى من اَلعَدَسَةِ يَرى لَهُ صُورَةً مُصَغَّرَةً مُعْتَدِلَةً تقديريَّةً.

اَلْبَصَرُ اَلطَّبيعيُّ اَلسَّوِيّ

اَلْحَسَر
(قِصَرُ اَلْبَصَر)

يُصَحَّحُ بِعَدَسَةٍ مُقَعَّرَة

اَلشَّبَكِيَّة

اَلطَّرَخ
(مَدُّ اَلْبَصَر)

يُصَحَّحُ بِعَدَسَةٍ مُحَدَّبَة

أَشِعَّةٍ كَالَّتِي اَسْتُخْدِمَتْ في اَلْمَرايا اَلْمُقَوَّسَةِ وصُوَرِها. فَكُلُّ شُعاعٍ مُوازٍ لِمِحْوَرِ العدسةِ ينكسِرُ لِيَمُرَّ بِالْبُؤْرةِ (أو لِيَبْدُوَ كأنَّه مَرَّ بِالْبُؤْرة التقديريّة)، أَمَّا الشُّعاعُ الْمارُّ في مَرْكَزِ العدسةِ فلا يُغَيِّرُ اَتِّجاهَهُ.

تَحوي اَلْعَيْنُ اَلْبَشَرِيَّةُ عَدَسَةً مُحَدَّبَةً تتَكَيَّفُ لِتُجَمِّعَ اَلأَشِعَّةَ اَلوارِدَةَ، عَبْرَ اَلْبُؤْبُؤِ، على اَلشَّبَكِيَّةِ في خَلْفِيَّةِ اَلْعَيْنِ. لكِنَّ عَدَسَةَ اَلْعَيْنِ في بَعْضِ اَلنَّاسِ (اَلْمُصابينَ بِالْحَسَرِ أي قِصَرِ اَلْبَصَرِ) تُجَمِّعُ أَشِعَّةَ الضوءِ في نُقْطَةٍ أمامَ **اَلشَّبَكِيَّةِ**، وفي بَعْضِهِمِ اَلآخَرِ (اَلْمُصابينَ بالطَّرَخِ أي مَدِّ اَلْبَصَرِ) تُجَمِّعُ عَدَسَةُ اَلْعَيْنِ اَلأَشِعَّةَ اَلضَّوئِيَّةَ خَلْفَ اَلشَّبَكِيَّةِ. وتُعالَجُ كِلتا اَلحالَتَيْنِ بِعَدَساتٍ خاصَّةٍ لِضَبْطِ تَرْكيزِ اَلضَّوءِ على شَبَكِيَّةِ اَلْعَيْنِ وتَوْضيحِ اَلرُّؤْيَة.

يتَغَيَّرُ اتِّجاهُ اَلضَّوءِ في اَلْعَدَساتِ على اَختلافِ أَنْواعِها بالانْكِسارِ. ولَمَّا كانَتْ نِسْبَةُ الانكِسارِ مُخْتَلِفَةً لِمُكَوِّناتِ اَلضَّوءِ اَلأَبْيَضِ اَللَّوْنِيَّةِ فإنَّ اَلضَّوءَ اَلْخارِجَ من اَلْعَدَسَةِ لا بُدَّ وأنْ يَكُونَ مُلَوَّنًا بَعْضَ اَلشَّيْءِ. وهٰذِهِ مُشْكِلَةٌ يُواجِهُها صانِعو اَلآلاتِ اَلَّتي تَسْتَخْدِمُ اَلعَدَساتِ. وقَدْ أَمكَنَ اَلتَّغَلُّبُ عَلَيْها إلى حَدٍّ كبيرٍ بِلَصْقِ عَدَسَتَيْنِ مُخْتَلِفَتَيِ اَلشَّكْلِ ونَوْعِ اَلزُّجاجِ لإِنْتاجِ عدَسَةٍ **أَكْروماتِيَّةٍ (لالَوْنِيَّة)**. وهٰذِهِ اَلْعَدَساتُ تُسْتَخْدَمُ على نِطاقٍ واسِعٍ في صُنْعِ اَلآلاتِ اَلْبَصَرِيَّةِ اَلْمُخْتَلِفَة.

فَوقُ (إلى اَلْيمين)

يُمكِنُكَ اَستخدامُ مَرْطَبانٍ مُعَبَّأٍ بالماءِ كعدسةٍ مُحدَّبةٍ بسيطةٍ تُجمِّعُ بها الأشعّةَ من الشمسِ أو من مصباحِ جيبٍ كَهْرَبائيّ. وإذا نظرتَ إلى الأجسامِ عَبْرَ هذه العَدَسةِ فستَراها مُشَوَّهةً مُتطاولةَ الشَّكلِ أو مُستعرِضةً تبعًا لوضعِ المَرْطَبانِ قائمٌ أو مُلْقًى على جانبه.

فَوقُ

تُركِّزُ عدسةُ العينِ السَّويّةُ أشعّةَ الضوءِ الدّاخلةَ من البُؤبُؤِ على شَبَكيّةِ العينِ. وفي المُصابينَ بالحسَرِ تُركِّزُ هذه الأشعّةُ في نقطةٍ أمامَ الشّبكيّةِ. وتُستخدَمُ العدساتُ المُقعَّرةُ لتفريقِ الأشعّةِ الدّاخلةِ بحيثُ تُركِّزُها عدسةُ العينِ (الزائدةُ التحدُّبِ) على الشّبكيّةِ تمامًا. أمّا لدى المُصابينَ بمدِّ البصرِ فتركِّزُ أشعّةُ الضوءِ في نقطةٍ خلفَ الشّبكيّةِ. وتُستخدَمُ العدساتُ المحدَّبةُ لمُساعدةِ عدسةِ العينِ في لَمِّ الأشعّةِ لتتجمَّعَ على الشّبكيّةِ تمامًا.

مِجْهَرٌ
(مِيكروسكوب)

كاميرا
(آلة تصوير)

مِنْظارُ مَيْدانٍ
ذو عَيْنِيَّتَيْن

مِرْقَبٌ (تِلِسكوب)

إلى اَلْيَسار

تُؤدِّي العدساتُ أغراضًا شتّى في مُختلِفِ أنواعِ الآلاتِ البَصَريّةِ. فالعدساتُ تُكبِّرُ الصُّوَرَ في المجْهَرِ والمِرْقَبِ ومِنْظارِ المَيْدانِ، وتُركِّزُ الأشعّةَ الضَّوئيّةَ لِتُكَوِّنَ صورةً واضحةً مُحَدَّدةَ المعالِمِ في آلاتِ التّصويرِ وأجهزةِ الإسقاطِ.

اَلأَجْهِزَةُ وَالآلاتُ البَصَرِيَّةُ

عِنْدَما نُريدُ التَّدقيقَ في فَحْصِ جِسْمٍ صَغيرٍ نُقَرِّبُهُ مِنَ العَيْنِ ؛ فذٰلك يَزيدُ من زاوِيَةِ الابصارِ ويَزيدُ بالتّالي من حَجْمِهِ الظّاهِريِّ. لكِنَّ ذٰلِكَ مَحدودٌ في العَيْنِ المُجَرَّدةِ حَيْثُ النُّقطَةُ الدُّنْيا لِلرُّؤيَةِ الواضِحةِ هي حَوالَى ٢٥ سَنْتيمترًا (في العَيْنِ السَّوِيَّةِ). فَتَقْريبُ الجِسْمِ دُونَ ذٰلِك يُشَوِّهُ صُورَتَهُ ويُغَبِّشُها.

ولِلْحُصولِ على صُورَةٍ مُكَبَّرَةٍ واضِحَةٍ لِجِسْمٍ دَقيقٍ أو بَعيدٍ دُونَ إرهاقِ العَيْنِ نَسْتَخْدِمُ المِجْهَرَ (الميكروسكوب) أو المِرقَبَ (التِلسكوب) أوِ المِنْظارَ.

وكُلٌّ من هٰذِهِ الأجهِزَةِ البَصريَّةِ يَسْتَخْدِمُ عَدَساتٍ ومَرايا لِمُساعَدَتِنا في رُؤيَةِ الأجسامِ الدَّقيقَة بِوُضوحٍ.

ولَعَلَّ المِرآةَ المُسَطَّحَةَ هي أَقْدَمُ الأدَواتِ البَصَرِيَّةِ ، فَقَد مَضَى على استِخدامِها أكثَرُ من ٢٠٠٠ عامٍ. والمِرآةُ تُغَيِّرُ اتِّجاهَ الأشِعَّةِ الضَّوئيَّةِ **بِعَكْسِها** على سَطْحِها المَعْدِنِيِّ الصَّقيل.

أمّا العَدَسَةُ فهِيَ في الواقِعِ الجُزْءُ الأهَمُّ في الأجهِزَةِ البَصَريَّة. وهِيَ تُغَيِّرُ اتِّجاهَ الحُزْمَةِ الضَّوئِيَّةِ **بِحَنْيِ** أو **كَسْرِ** الأشِعَّةِ خِلالَ عُبُورِها إيّاها.

فَوقُ

تَنْعكِسُ الصُّورةُ في المِرآةِ يَمينَ يَسارَ ، أي إنَّ الجِهَةَ اليُمْنَى لِلصُّورةِ تَبْدُو مُقابِلَ الجِهَةِ اليُسرى لِلْجِسْمِ والعَكْسُ بالعَكْسِ. وقد مَضى على استِعمالِ المِرآة قُرونٌ عَديدةٌ وقَدِ استَخْدَمَها الإنسانُ لِاغراضٍ عَمَليَّةٍ كَما لِلزَّخْرَفَةِ والزّينة.

إلى اليسارِ

بَعْضُ الأجهِزَةِ البَصريَّةِ التّاريخيَّةِ. نَموذَجٌ لِلمِجْهَرِ الأوَّلِ الّذي ابتَكَره العالِمُ الهُولَنديُّ لِيونهُوك. في الوسَطِ نَمُوذَجٌ عنِ المِجْهَرِ الّذي ابتكَره العالِمُ البَريطانيُّ رُوبَرت هُوك قَبلَ أن يَنْشُرَ كِتابَهُ عنِ المِجْهَرِ عام ١٦٦٥ . وإلى اليَسارِ نَمُوذَجٌ للمِصْباحِ والمُكَثِّفِ الضَّوئيِّ اللَّذَين صمَّمَهُا هُوك لإنارةِ الجِسمِ المَنْظُورِ بالمِجْهَرِ.

مِجْهَرُ لِيونْهُوك

مِجْهَرُ هُوك

إلى اليسارِ

كاميرا عاكِسَةٌ أحادِيَّةُ العَدَسَة. وتُسْتَخْدَمُ مَجموعَةُ العَدَسَةِ لِتَحْديدِ المَنْظَرِ ولِتَركيزِ الصُّورة ، فالمُصَوِّرُ يَرى المَشْهَدَ أو الجِسْمَ المُرادَ تَصويرُهُ في المُصَوِّبَةِ (مُعَيِّنَةِ المَنْظَرِ) المُرتَبِطَةِ بَصَرِيًّا بِمَجْمُوعَةِ العَدَسَةِ بِواسِطَةِ مَوشُورٍ خُماسِيٍّ ومِرآةٍ. والمِرآةُ مُتَمَفْصِلَةٌ بِحَيْثُ تَرتَفِعُ تِلْقائيًّا عِنْدَ انفِتاحِ الغَلَقِ لِتَعْريضِ الفيلمِ.

مُعَيِّنَة المَنظَر

مَوشُور خماسي

فيلم

مِرآة متمفصلة

أشِعَّة الضَّوء

عَدَسَة مُرَكَّبَة

أقصى اليسار

عَدَسَةٌ مُرَكَّبَةٌ. تُدارُ أجزاءُ العدسةِ لِتَحْريكِها في حاضِنٍ دَقيقِ الصِّناعَةِ يَسْمَحُ بالدَّورانِ والحَرَكَةِ دُونَ تَسَرُّبِ الضَّوءِ إلَيْهِ.

عَدَسَةٌ مُرَكَّبَة

إلى اليسارِ

تِلِسكُوبٌ (مِرقَبٌ) كاسِرٌ بسيطٌ ذُو عَدَسَةٍ شَيْئِيَّةٍ مُحَدَّبَةٍ وعَدَسَةٍ عَيْنِيَّةٍ مُقَعَّرَةٍ لِرؤيَةِ الأجْسامِ البعيدةِ قائمةً (غَيْرَ مَقْلُوبَةٍ). وهو تطبيقٌ عَمَليٌّ على تِلِسكوب غاليليو (صفحة ١٣٢).

عَيْنِيَّة (العدسة العينيَّة)

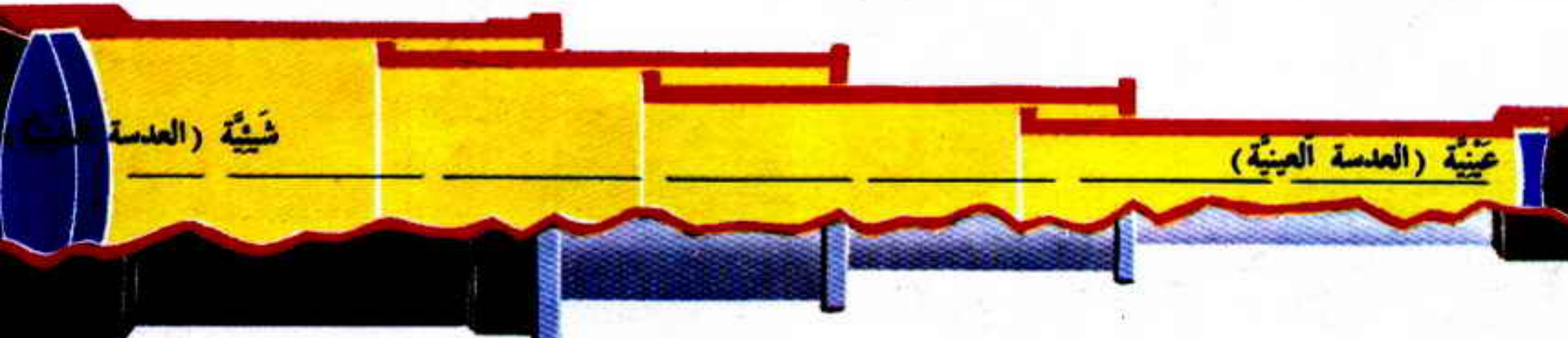
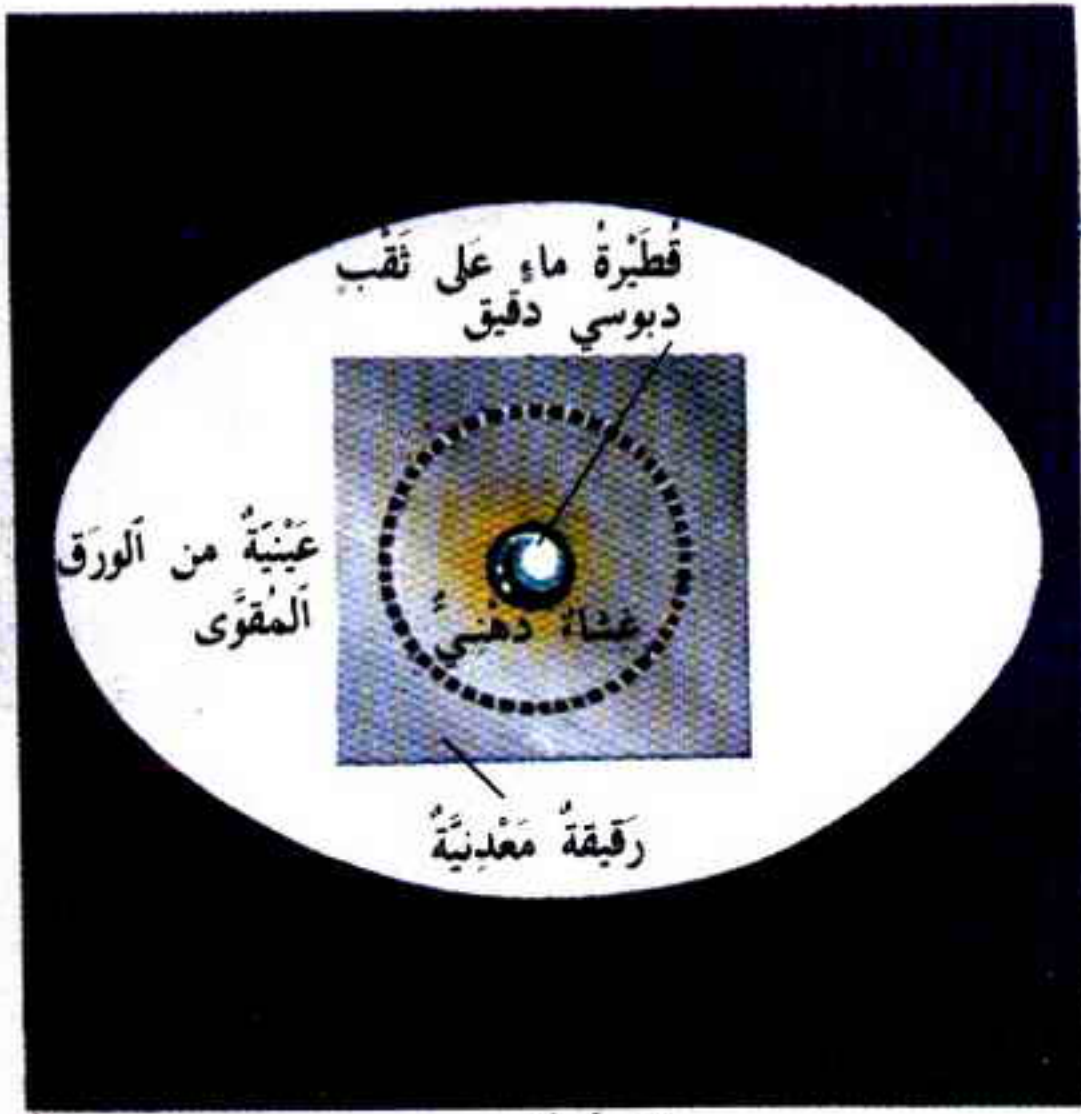
شَيْئِيَّة (العدسة ...)

مصباحٌ ومكثّفٌ ضوئيٌّ

قُطَيْرةُ ماءٍ على ثقبٍ دبوسيٍّ دقيق

عيِّنةٌ من الورق المقوّى

غشاءٌ دهنيٌّ

رقيقةٌ معدنيّةٌ

إلى اليسار

مجهر قطرة الماء. قرِّبْ هذه العيِّنة المكبِّرة من عينك وانظر عبرها إلى جسم صغير كشعرة مثلاً. أبعد الجسم أو الشعرة جيدًا وقرِّبها من المجهر بعناية حتى تحصل على صورة واضحة للجسم المنظور.

إلى أسفل

تُستخدمُ الموشوراتُ في بعضِ الأجهزةِ البصريّةِ كالمنظار (البيريسكوب). حيثُ تقومُ الموشوراتُ بعملِ المرايا المستويةِ فتعكسُ الضوءَ بالانعكاسِ الداخليِّ التامِّ (الكلّيِّ) بزاويةٍ مقدارُها ٩٠. ويشتملُ المنظارُ البحريُّ أيضًا على مجموعةِ عدساتٍ لتكبيرِ الصورةِ وتركيزِها.

موشورٌ متحرِّكٌ

عدساتُ تكبير

أنبوبٌ تلسكوبيٌّ (متداخلُ الأجزاءِ)

العيْنيّة

وبالإمكانِ تكوينُ صورةٍ مكبَّرةٍ (حقيقيّةٍ أو تقديريّةٍ) للجسمِ تبعًا لنوعِ العدسةِ وبعدِ الجسمِ عنها. ويُقاسُ **تكبيرُ** الآلةِ البصريّةِ بقسمةِ طولِ الصورةِ على طولِ الجسمِ. فباستخدامِ العدسةِ المكبِّرةِ (المؤلّفةِ من عدسةٍ واحدةٍ محدَّبةٍ) يُمكنُ تكبيرُ الجسمِ عدّةَ مرّاتٍ.

ويُمكنُ زيادةُ تكبيرِ الآلةِ البصريّةِ كثيرًا باستخدامِ مزيدٍ من العدساتِ. ففي كلٍّ من التلسكوبِ الفلكيِّ البسيطِ (صفحة ١٣٢) والميكروسكوبِ (صفحة ٢١٦) تُستخدَمُ عدستانِ محدّبتانِ تفصلُهما مسافةٌ محدَّدةٌ لتمكينِهما من تكوينِ صورةٍ للجسمِ مضاعفةِ التكبيرِ جدًّا من كلَيْهما. وتزادُ في الجهازِ البصريِّ عادةً عدساتٌ أُخرى لتحسينِ نوعيّةِ الصورةِ وتوضيحِها.

وجديرٌ بالذِّكرِ أنّهُ من غيرِ الممكنِ مواصلةُ زيادةِ التكبيرِ في جهازٍ بصريٍّ مهما زدْنا أو حسّنّا المجموعةَ البصريّةَ التي يتألّفُ منها من عدساتٍ وسواها. فهنالكَ حدٌّ أقصى للتكبيرِ لا تسمحُ القوانينُ الطبيعيّةُ بتجاوُزِه. فلرؤيةِ الجسمِ بالمجهرِ لا بُدَّ من إنارتِه بحزمةٍ ضوئيّةٍ، **فالطولُ الموجيُّ** للضوءِ يُحدِّدُ القيمةَ القصوى للتكبيرِ (انظر صفحة ١٣٨). وحيثُ إنّ الطولَ الموجيَّ للضوءِ هو كمّيّةٌ ثابتةٌ فإنّ الحدَّ الأقصى للتكبيرِ في المجهرِ أو المرقبِ هُوَ أيضًا كمّيّةٌ ثابتةٌ.

والكاميرا أو آلةُ التصويرِ هي جهازٌ بصريٌّ من نوعٍ مغايرٍ، فهي تُكوِّنُ صورةً دائمةً للجسمِ أو المنظرِ على فيلمٍ فوتوغرافيٍّ. وقد تحتوي الكاميرا على عدسةٍ أو أكثرَ، وفي بعضِ الكاميراتِ تكونُ مجموعةُ العدساتِ متعدِّدةً ومعقّدةَ التركيبِ.

وتشتملُ بعضُ الأجهزةِ البصريّةِ على مدّةٍ مستقطِبةٍ مهمّةٍ تُسمّى بولارويد. فالمعروفُ أنّ أمواجَ الضوءِ العاديِّ (غيرِ المستقطَبِ) تحوي ذبذباتٍ في شتّى الاتّجاهاتِ متعامدةً مع خطِّ سيرِ التموُّجِ. لكنّ المادّةَ المستقطِبةَ تُنفِذُ ضوءًا ذا ذبذبةٍ عموديّةٍ وحيدةِ الاتّجاهِ، وذلكَ يُقلِّلُ من البهرِ أو الوهجِ الناتجِ عن استطارةِ الضوءِ وانعكاسِه. ولهذا السببِ تُستخدَمُ المادّةُ المستقطِبةُ (البولارويد) أو أغشيةٌ منها في صُنعِ النظّاراتِ الشمسيّةِ ومرشّحاتِ الكاميراتِ وفي كثيرٍ من الأجهزةِ البصريّةِ الأُخرى.

إلى اليمين

النظّاراتُ المستقطِبةُ تُقلِّلُ البهرَ أو الوهجَ الناتجَ عن استطارةِ (تشتُّتِ) الضوءِ وانعكاسِه. تُصنَعُ عدساتُ هذه النظّاراتِ من البولارويد وهي مادّةٌ مستقطِبةٌ تسمحُ بنفاذِ أمواجِ الضوءِ ذاتِ الذبذبةِ المتعامدةِ المتناسبةِ مع اتّجاهيّتِها. وتحوي أمواجُ الضوءِ غيرِ المستقطَبِ عادةً تموُّجاتٍ متعامدةً في شتّى الاتّجاهاتِ.

التِّلِسكُوبات الكاسِرَة

غاليليو

فوق

غاليليو غاليلي (١٥٦٤ – ١٦٤٢) عالمٌ ورياضيٌّ إيطاليٌّ اكتشفَ مبدأَ الرَّقّاص (البَنْدول) وبرهنَ أنَّ سُرْعةَ الأجسامِ الساقطةِ في الفراغِ متساويةٌ مهما تبايَنَتْ أوزانُها. وقد حسَّنَ التِّلسكوبَ ورصدَ به القُبَّةَ السَّماويَّةَ. وأيَّدَ نظريَّةَ كوبرنيكس بأنَّ الشَّمسَ هي مركزُ نظامِنا الفلكيِّ وأنَّ الكواكبَ تدورُ حولَها.

التِّلِسْكُوباتُ أو المَراقِبُ هيَ أَجْهِزَةٌ بَصَرِيَّةٌ تُسْتَخْدَمُ لِرُؤْيَةِ الأَشياءِ البَعيدةِ. ويُعْتَقَدُ أنَّ أوَّلَ تِلِسكُوب كانَ من صُنعِ النظّاراتيِّ الهُولَنْديِّ هانْز لِيبَرْشي عام ١٦٠٨، فقد لاحَظَ صُدْفَةً وهو يتفحَّصُ زَوْجَيْنِ مِنَ العَدَساتِ واحِدةً أمامَ الأُخرى، أنَّ الأجسامَ تَبدو أقْرَبَ بالنَّظَرِ عَبْرَهُا. وفي عام ١٦١٠ صَنعَ العالِمُ الايطاليُّ الشَّهيرُ غاليليو تِلسكُوبًا أفضَلَ، عُرِفَ بِتِلسكُوب غاليليو، يُكَبِّرُ الأشياءَ ٣٣ ضِعفًا. ثُمَّ توالَتِ التَّحسيناتُ تَدريجيًّا على التِّلسكوبِ على أَيدِي مُخْتَلِفِ العُلَماءِ والفَلَكِيِّينَ.

وتُسَمَّى التِّلِسكوباتُ الَّتي تَسْتَخْدِمُ العَدساتِ (بدلًا من المَرايا) **تِلِسْكُوبات كاسِرَةً** لأنَّ الضَّوءَ يَنحَني فيها بالانكِسارِ عَبْرَ العَدَساتِ الزُّجاجيَّةِ.

والتِّلسكوباتُ الكاسِرَةُ كَثيرًا ما يُطْلَقُ علَيْها اسْمُ التِّلسكوباتِ الفلكيَّةِ. وأكبَرُ المَوجودِ مِنها حاليًّا تِلِسكُوبُ يِيرِكِزْ في ولايةِ وِيسْكُنْسِن بالولاياتِ المُتَّحدة الأمريكيَّة، وقُطرُ عدسَتِه الشَّيئيَّةِ مِتْرٌ وطولُ أُنبوبِه حوالَى ١٨ مِترًا.

وقَد كانتِ التِّلِسكُوباتُ الأُولَى تُعاني من تَلَوُّنِ حَوافِّ الصُّوَرِ فيها نَتيجةً لِتَفاوُتِ نِسْبَةِ انكِسارِ مُكَوِّناتِ الضَّوءِ اللَّونيَّةِ في عَدَساتِها وهو يُعرَفُ **بالزَّيغِ اللَّوني**. ويُعالَجُ هذا الزَّيغُ في التِّلسكوباتِ الكاسِرةِ الحديثَةِ باستِخدامِ عَدَساتٍ لالونيَّةٍ (أنظر صفحة ١٢٩). أمّا التِّلسكُوباتُ العاكِسَةُ فهي بِطَبيعَتِها لا تُعاني مِثْلَ هٰذا النَّقصِ.

ولا تَصلُحُ التِّلسكُوباتُ الفَلَكيَّةُ بعَدَسَتَيْها المُحَدَّبَتَيْنِ لِلمُراقَبَةِ الأَرضيَّةِ لأنَّ الصُّوَرَ تَبْدُو فِيها مَقْلُوبَةً رأسًا على عَقِب. ويُمكِنُ إضافةُ عَدَسَةٍ ثالِثَةٍ مُحَدَّبَةٍ في أُنبوبِ التِّلسكُوبِ بينَ الشَّيئيَّةِ والعَيْنيَّةِ لِجَعْلِ الصُّورةِ النِّهائيَّةِ المَرْئِيَّةِ قائمَةً ويُعرفُ مِثْلُ هٰذا التلسكوبِ **بالتِّلسكُوبِ الأرضِيِّ**.

إلى اليسار

يتميَّزُ مرقبُ (تلسكوبُ) غاليليو باستخدامِ عدسة مُقعَّرة للعينيَّةِ. وبذلك تبدو الصُّورةُ المرئيَّةُ قائمةً (غير مقلوبة). لكنَّ الكثير من التِّلسكوبات الكاسرة تستخدمُ عدسةً محدَّبةً للعينيَّةِ وتكونُ الصُّورةُ المرئيَّةُ فيها مقلوبةً رأسًا على عقب. وهذا النَّوعُ من التِّلسكوب هو من تصميم كِبْلِر.

لقد استَخْدَمَ غاليليو تِلِسكُوبَهُ لِلقِيامِ بِرَصْدِ الأفلاكِ فاكتشفَ أقْمارَ كوكَبِ المُشْتَري وشاهَدَ التِّلالَ والوِديانَ على سَطحِ القَمَرِ. وقَد صنَعَ غاليليو تِلسكُوبَه من عَدَسَةٍ مُحَدَّبَةٍ في المُقَدَّمَةِ هِيَ **الشَّيئيَّة** ومن عَدَسَةٍ أُخرى مُقَعَّرَةٍ لِلمُراقَبَةِ هيَ **العَيْنِيَّة**. وبِهٰذِهِ التَّركيبَةِ مِنَ العَدَساتِ تُرى الأجسامُ في تِلسكوب غاليليو قائمَةً غَيْرَ مَعكوسَةٍ.

أمّا التِّلسكوباتُ الَّتي تلَتْ مِرقَبَ غاليليو فقَد صُنِعَتْ من عَدَسَتَيْنِ مُحَدَّبَتَيْنِ تُكَوِّنُ الأُولَى (الشَّيئيَّة) صُورةً مَقلوبةً رأسًا على عَقِبٍ لِلجِسْمِ بَيْنَ العَدَسَتَيْنِ ثُمَّ تُكَبِّرُ العدسةُ المُحدَّبَةُ الأُخرى (العَيْنِيَّةُ) هٰذهِ الصُّورةَ بحيثُ يُشاهِدُها المُراقِبُ مُكَبَّرَةً مع بَقائها مَقْلُوبَةً. وهٰذا في الواقِعِ لا يُؤَثِّرُ في مُراقَبَةِ الأَجسامِ الفلكيَّةِ.

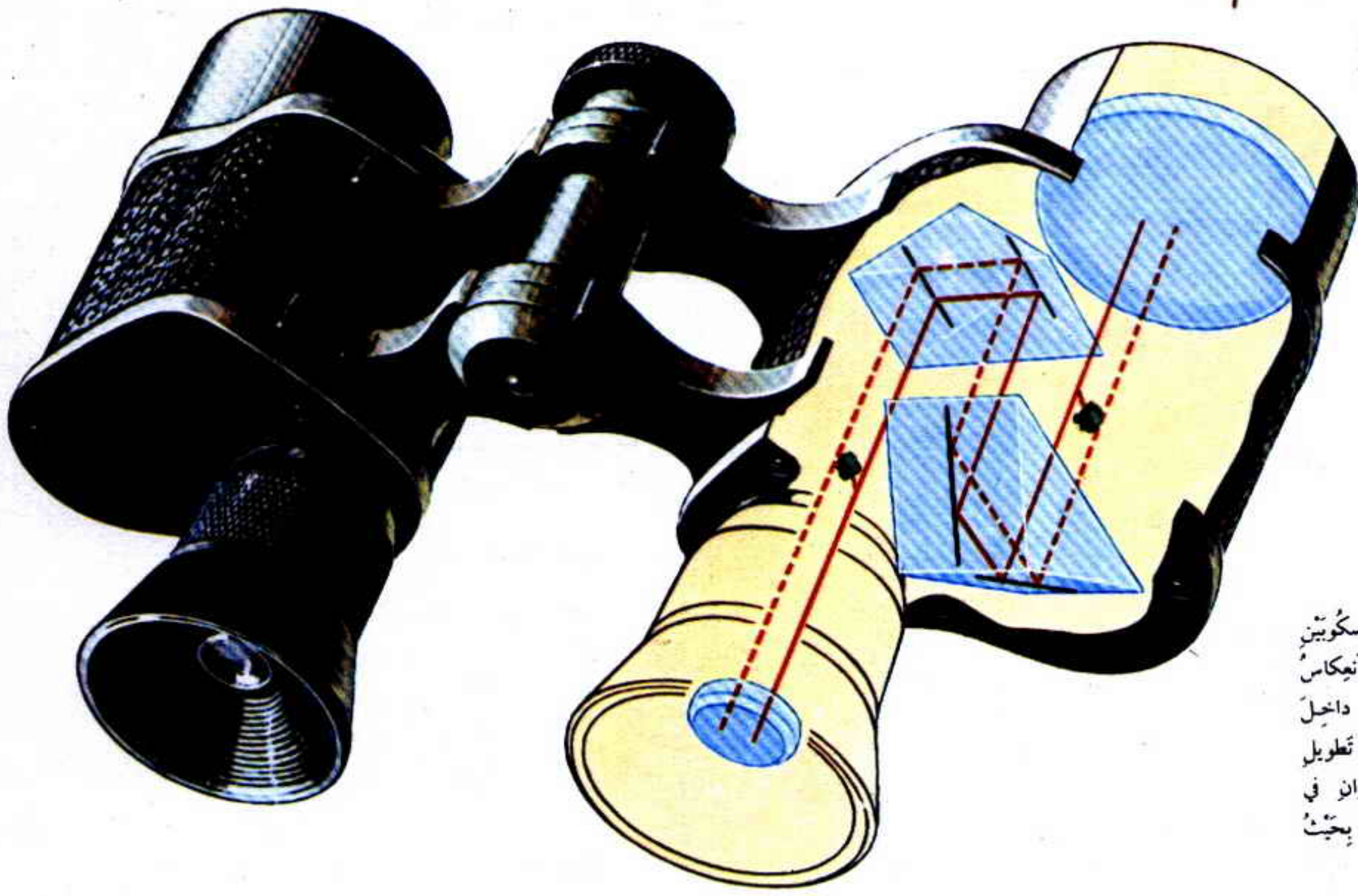
أمّا تِلِسكُوبُ غاليليو فهُو تِلِسكُوبٌ أرضِيٌّ، بالإضافةِ إلى إمكانيَّةِ استِخدامِه للأَغراضِ الفلكيَّةِ، وتَبدُو الصُّورةُ المَرئيَّةُ فِيهِ قائمةً (غَيْرَ مَقلوبةٍ).

ويُقالُ إن لِيبَرشِي الَّذي يُعزَى إليهِ ابتِكارُ التِّلِسكُوبِ كانَ قد ابتَكَرَ أيضًا التِلسكوبَ ذا العَيْنِيَّتَيْنِ عام ١٦٠٨ لكِنَّ اختراعَهُ لَمْ يَلْقَ اهتِمامًا فَضاعَ.

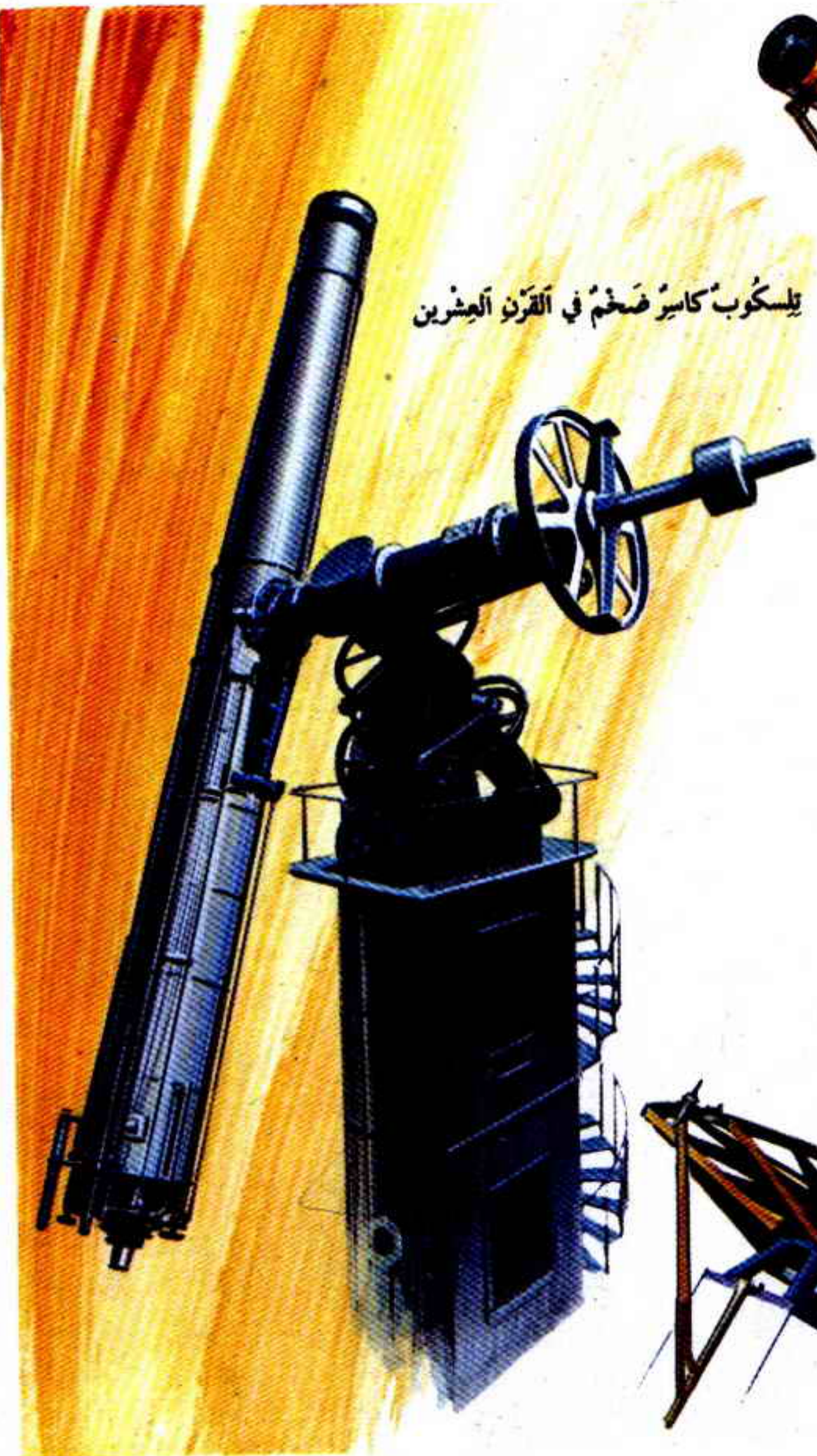
وفي عام ١٨٢٣ اختُرِعَ التِّلِسكُوبُ ذُو العَيْنِيَّتَيْنِ ثانِيَةً على يَدِ هُولَنْديٍّ آخَرَ اسمُهُ ج. ڤويتلَنْدر. ويتألَّفُ كُلٌّ من مِنْظارِ المَسْرَحِ ومِنظارِ المَيْدانِ البَسيطِ مِن تِلِسكُوبَيْنِ من نَوعِ مِرقَبِ غاليليو وهُما ذَوا قُوَّةِ تَكْبيرٍ ضَئيلَةٍ. أمّا مِنْظارُ المَيْدانِ العاديُّ القويُّ التَّكبيرِ فيتألَّفُ مِن عَدَساتٍ مُحَدَّبَةٍ لِكُلٍّ مِنَ الشَّيئيَّةِ والعَيْنِيَّةِ.

كِبْلِر

فوق

يوهان كِبْلِر (١٥٧١ – ١٦٣٠) فلكيٌّ ألمانيٌّ. اكتشفَ القوانينَ الثَّلاثةَ لِحَرَكةِ الكواكبِ وتمكَّنَ بذلكَ من تفسيرِ حركةِ الشَّمسِ والقمرِ والكواكبِ. عمِلَ مُساعدًا للفلكيِّ الدانماركيِّ تيكو براهي وكانَ صديقًا لغاليليو. وإليهِ يُعزَى تصميمُ التِّلسكوب ذي العدستَيْنِ المُحدَّبتَيْنِ للشَّيئيَّةِ والعَيْنيَّةِ.

إلى اليسار

يتألّفُ المِنظارُ ذو العَينَيْنِ من تِلِسكُوبَيْنِ مَوضُوعَيْنِ جَنْبًا لِجَنْبٍ. ويُلاحَظُ انعِكاسُ الأشِعَّةِ بِواسِطَةِ المَوشُورَيْنِ داخِلَ التِّلِسكوبِ – وهذا يَعْني الاستِغناءَ عن تَطويلِ أُنبوبِ التِّلِسكُوبِ. ويَعمَلُ المَوشُورانِ في الوقتِ نَفْسِهِ على قَلْبِ الصُّورةِ النّاتِجَةِ بِحَيْثُ تَبْدُو لِلنّاظِرِ قائمةً.

تِلِسكُوبٌ كاسِرٌ لالَونيّ من القَرْنِ التّاسِعَ عَشَرَ

تِلِسكُوبٌ كاسِرٌ ضَخمٌ في القَرْنِ العِشْرين

تِلِسكوبٌ كاسِرٌ استِوائيُّ التَّوجيهِ القَرْنِ الثامِنَ عَشَرَ

إلى اليسار

تِلِسكوبٌ كاسِرٌ استِوائيُّ التَّوجيهِ من القَرْنِ الثّامِنَ عَشَرَ، قُطْرُ الشَيئيّةِ فيهِ ٦٧ , ١٠ سَنتيمِترًا وكانَ قد صُنِعَ لِمَرْصَدِ شاكْبُورغ.

تِلِسكُوبٌ كاسِرٍ لالَونيٌّ (أكْرُوماتِيّ) من القَرْنِ التّاسِعَ عَشَرَ، قُطرُ الشَّيئيّةِ فيهِ ٨,٢٥ سَنتيمِترًا، وهي مُؤلّفَةٌ مِن عَدَسَتَيْنِ.

تِلِسكُوبٌ كاسِرٌ ضَخمٌ من القَرْنِ العِشْرينَ، قُطْرُ الشَّيئيّةِ فيهِ ٦٦ سَنتيمِترًا. ويُستَخدَمُ هذا التِّلِسكُوبُ في مَرصَدِ البَحريّةِ الأمريكيّةِ بِواشِنطُن.

اَلتِّلِسكُوباتُ العاكِسَةُ

كانَتِ التِّلِسكُوباتُ الكاسِرَةُ الأُولَى قاصِرَةً عَن إعطاءِ صُوَرٍ واضِحَةٍ مُحَدَّدَةِ المَعالِمِ لأَنَّ صُنْعَ العَدَساتِ الجَيِّدَةِ كانَ مُتَعَذِّرًا. وفي عام ١٦٦٨ اختَرَعَ السِّرُ إسحٰقُ نيُوتُن تِلِسكُوبًا عاكِسًا لا يَشْتَمِلُ على عَدَسَةٍ شَيْئِيَّةٍ. فالضَّوءُ يَسري عَبْرَ أُنبوبٍ طويلٍ مَفتُوحٍ لِيَسْقُطَ على مِرآةٍ مُقَعَّرَةٍ في أسفَلِ الأُنبوبِ. وتعكِسُ المِرآةُ المُقَعَّرَةُ أشعَّةَ الضَّوءِ نَحْوَ أَعلَى الأُنبوبِ إلى مِرآةٍ ثانِيَةٍ مُسَطَّحَةٍ مائِلَةِ الوَضعِ لِتُوَجِّهَ الأَشِعَّةَ بِدَوْرِها إلى عَدَسَةٍ مُحَدَّبَةٍ مُكَبِّرَةٍ هي عَيْنِيَّةُ التِّلِسكُوبِ. وكانَتِ الصُّورُ النَّاتِجَةُ بِتِلِسكُوبِ نيُوتُن واضِحَةً وخالِيَةً من الحَوافِّ اللَّوْنِيَّةِ الَّتي كانَتْ تُعاني مِنها التِّلِسكُوباتُ الكاسِرَةُ.

والتِّلِسكُوباتُ الكُبْرى في العالَمِ اليَوْمَ هِيَ من النَّوعِ العاكِسِ لِأَنَّ المَرايا تُعطي صُوَرًا واضِحَةً مُحَدَّدةَ المَعالِمِ خالِيَةً من الحَوافِّ اللَّوْنِيَّةِ ثُمَّ إنَّ صُنْعَ المَرايا أسْهَلُ كثيرًا من صُنْعِ العَدَساتِ الكَبيرةِ.

إنَّ مُعظَمَ الأجسامِ الَّتي يَدْرُسُها الفَلَكِيُّونَ شاسِعَةُ البُعْدِ جدًّا وخافِتَةُ النُّورِ ولا يُمكِنُ رُؤيَتُها إلَّا بواسِطَةِ التِّلِسكُوباتِ الَّتي تُجَمِّعُ ضَوءًا كَثيرًا. لِذا نَجِدُ التِّلِسكُوباتِ العاكِسَةَ الحَديثَةَ ذاتَ قُوَّةٍ كَبيرَةٍ على تجميعِ الضَّوءِ بِحَيثُ تُمَكِّنُ الرَّاصِدَ من رُؤيَةِ التَّفاصيلِ الدقيقَةِ لِعَدَدٍ كَبيرٍ جدًّا من النُّجومِ القاصِيَةِ البُعْدِ والخافِتَةِ النُّورِ.

وكَثيرًا ما تُثَبَّتُ كاميراتٌ مَديدَةُ زَمَنِ التَّعريضِ إلى هذِهِ التِّلِسكوباتِ فتَقومُ بِجَمْعِ مَزيدٍ مِنَ المَعلوماتِ المُهِمَّةِ عَنِ النُّجومِ والمَجَرَّاتِ. ومعَ أَنَّ أَقْوَى التِّلِسكوباتِ لا تُرينا النَّجْمَ البعيد جدًّا أكبَرَ مِن نُقطَةٍ ضَوئِيَّةٍ فإنَّها تُزَوِّدنا بالكَثيرِ منَ المَعلوماتِ عَنْه كَلَونه مَثَلًا أو كَطَبيعَةِ تَكْوينِه من حَيْثُ هُوَ مُفرَدٌ أو مُزدَوِجٌ أو رُباعِيٌّ. فبَعْضُ النُّجومِ الَّتي تَبدو لَنا وَحيدَةً هي في الحَقيقَةِ مَجموعةٌ ثُنائيةٌ أو رُباعِيَّةٌ مُتَقارِبَةٌ.

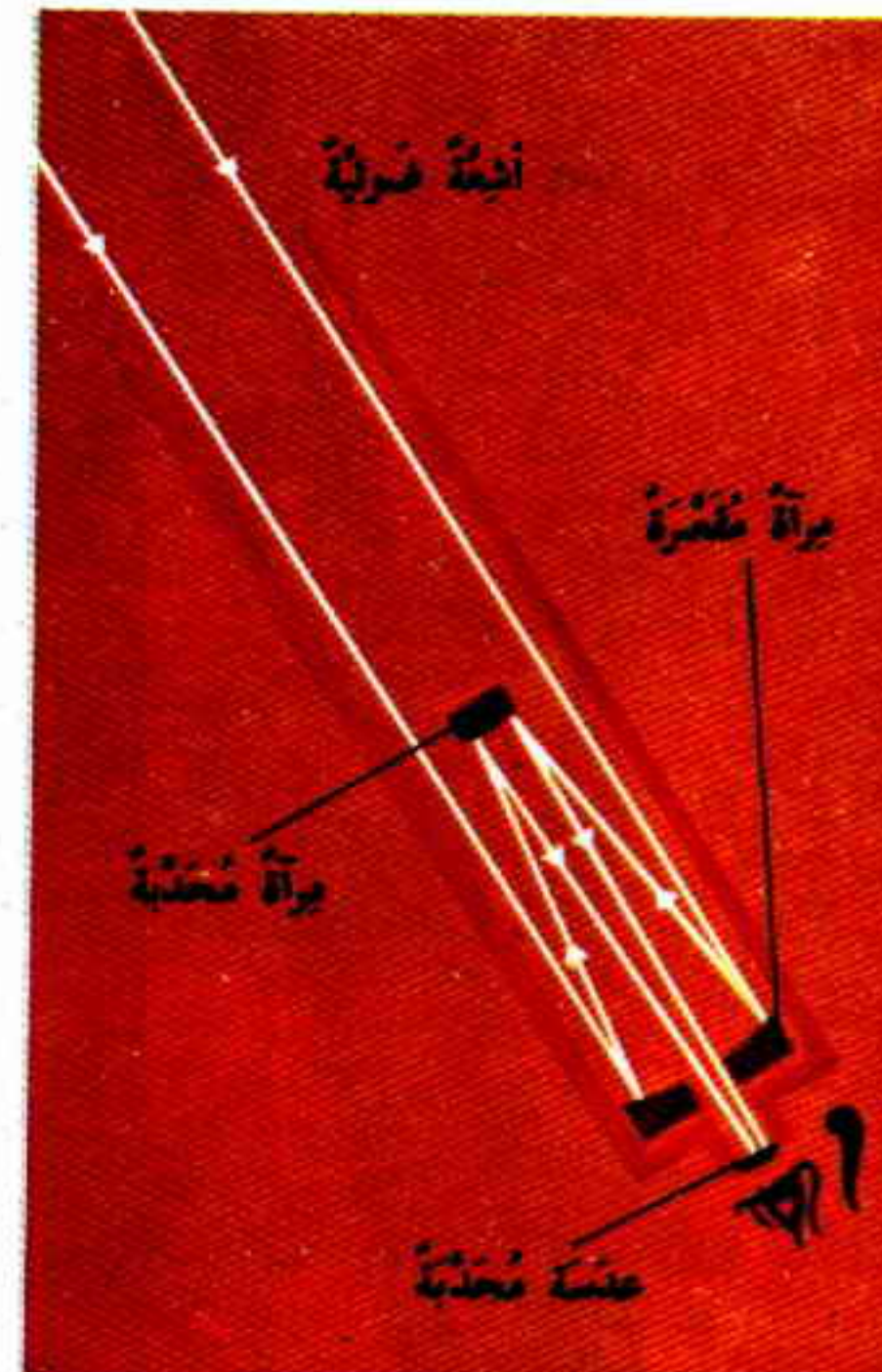
والمَجَرَّاتُ هِيَ مَجموعاتٌ كُبْرَى من النُّجومِ تَضُمُّ الواحِدَةُ مِنها آلافَ المَلايينِ مِنَ النُّجومِ. فمَجَرَّتُنا المَعروفَةُ بِدَرْبِ التَّبَّانَةِ والَّتي مِنهاالمَجموعةُ الشَّمسِيَّةُ تَضُمُّ ٣٠ ألفَ مِلْيُونِ نَجْمٍ، وهُنالِكَ حوالَى ١٠٠٠ مليون مَجَرَّةٍ مُنفَصِلَةٍ خارِجَ مَجَرَّتِنا لا تُرى مِنها إلَّا ثلاثٌ بالعَيْنِ المُجَرَّدَةِ. لكنَّ الكثيرَ مِنها قد صُوِّرَ بالتِّلِسكُوباتِ.

والتِّلِسكُوباتُ البَصَرِيَّةُ مَحدُودَةُ المَجالِ في دِراسَةِ النُّجومِ، لِذا عَمَدَ الفَلَكِيُّونَ إلى آلاتٍ أُخرى طُوِّرَتْ لِدِراسَةِ تَركيبِ النُّجومِ. والمِطياف هو مِن أَشْهَرِ هذه الآلاتِ (أنظُرْ صفحة ١٣٧).

هُنالِكَ حوالَى ٣٠٠ مَرصَدٍ في العالمِ في كُلِّ مَرصَدٍ منها تَقريبًا تِلِسكُوبٌ عاكِسٌ كَبيرٌ، وهنالِكَ أيضًا حوالَى ٦٤ مَرصدًا راديًّا عدا المَراصِدِ الخاصَّةِ. أمَّا أكبَرُ تِلِسكُوبٍ عاكِسٍ في العالَمِ فهُوَ مَرْصَدُ جبَلِ بالُومارَ في كاليفورنيا بالولاياتِ المتَّحِدة. فالطقسُ المُناسِبُ والأحوالُ الجَوِّيَّةُ المُواتِيَةُ هناكَ تُمَكِّنُ من استِخدامِ المَرصَدِ بِمُعَدَّلِ ٣٠٠ يومٍ في السَّنَةِ. ومِرآةُ المَرصَدِ مَصْنوعَةٌ منَ الزُّجاجِ بِقُطْرٍ يُساوي ٥٠٨ سنْتيمِترات، وهي مُغلَّفَةٌ بِطَبَقَةٍ رَقيقَةٍ منَ الألومِنيُومِ

فَوقُ

في تِلِسكُوب نيُوتُن تُستَخدَمُ مِرآةٌ مُقَعَّرَةٌ مُكافِئِيَّةُ المَقْطَعِ (أنظُر صَفحة ١٢٣). تُجَمِّعُ المِرآةُ المُقَعَّرَةُ حُزْمَةَ الأَشِعَّةِ الضَّوئِيَّةِ المُتَوازِيَةِ في نُقطَةٍ فَتَتَلَقَّاها مِرآةٌ مُستَوِيَةٌ صَغيرةٌ تَعكِسُها خارِجَ التِّلِسكُوبِ عَبْرَ عَيْنِيَّةِ المِرقَبِ. وتُثَبَّتُ في المِرقَبِ عادةً كاميرا لالتِقاطِ الصُّورِ التِّلِسكُوبِيَّةِ.

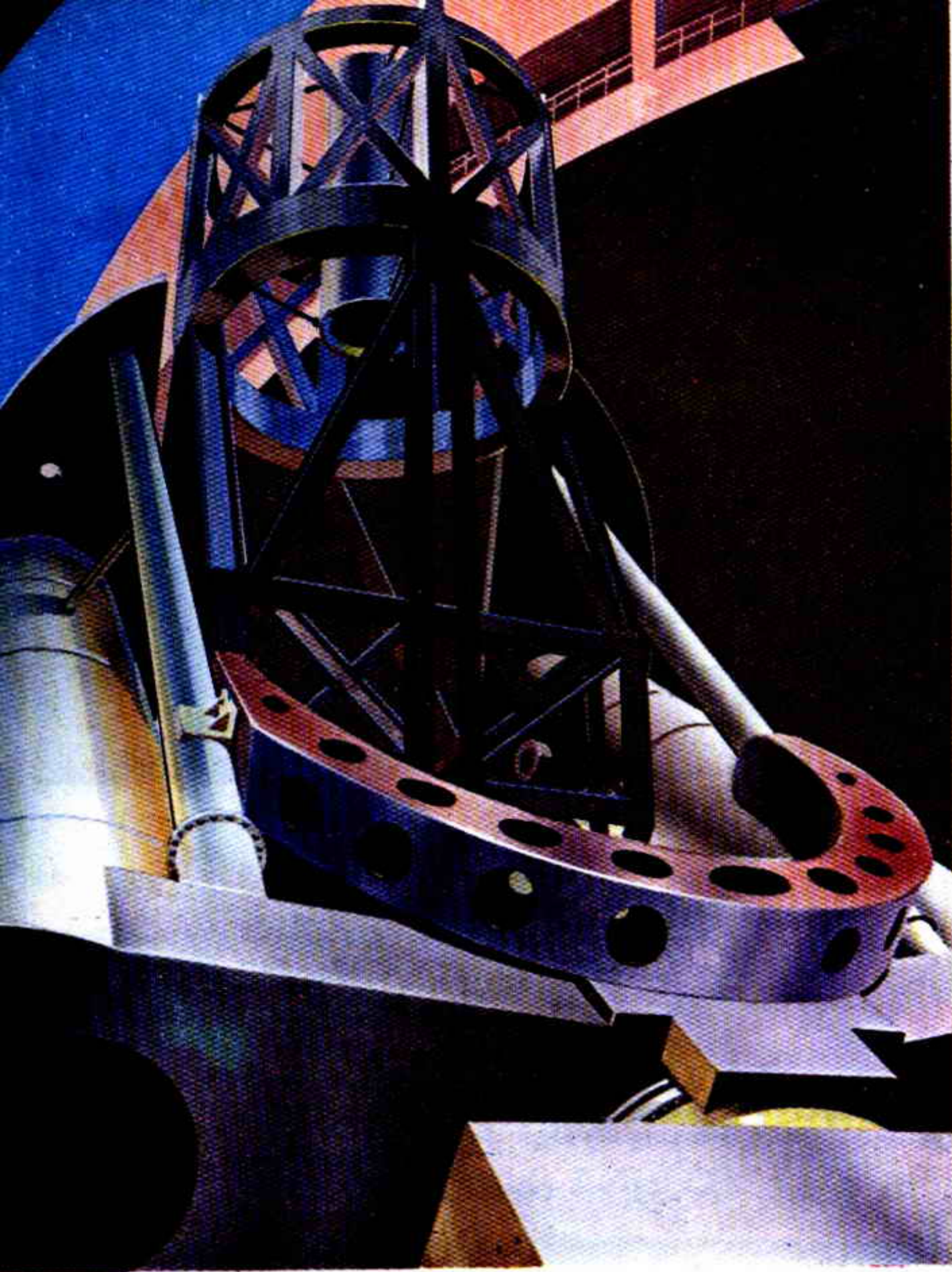
فَوقُ

في تِلِسكُوب كاسيجْرين (١٦٧٢) تُجَمَّعُ الأشِعَّةُ الضَّوئِيَّةُ بواسِطَةِ مِرآةٍ مُقَعَّرَةٍ مَثقوبَةٍ. تَعكِسُ المِرآةُ المُقَعَّرةُ الضَّوءَ إلى مِرآةٍ مُحَدَّبَةٍ فَوقَها وهٰذِه تَرُدُّهُ بِدَوْرِها عَبْرَ ثَقْبِ المِرآةِ المُقَعَّرَةِ إلى عَيْنِيَّةِ المِرقَبِ.

إلى اليمين

يَضُمُّ مَرْصَدُ جَبَلِ بالُومار في كاليفورنيا بالولاياتِ المتَّحِدةِ أحَدَ أكبَرِ التِّلِسكُوباتِ العاكِسَةِ في العالَمِ. تَزِنُ قُبَّةُ المَرصَدِ حوالَى ١٠٠٠ طُنٍّ وبِها غَلَقٌ يُفتَحُ عِند استِخدامِ التِّلِسكوبِ ويُمكِنُ تَدويرُ القُبَّةِ بِحَيْثُ يُوَجَّهُ التِّلِسكوبُ إلى جَميعِ الاتِّجاهاتِ.

في عام ١٩٧٠ بَنى الرُّوسُ مَرصَدًا أكبَرُ قُطْرِ مِرآتِهِ ٦ أمتار في زِلِنْكُوكسْكَايا في جِبالِ القوقاز.

لِتَزيدَ من عاكِسِيَّتِها.

ويُمكِنُ ٱستِخْدامُ ٱلمَرصَدِ بالنَّسَقِ ٱلنيُوتُونيِّ أو بِٱلنّسَقِ ٱلكاسِجْرانيِّ. ويَضُمُّ مَرصَدُ جَبَلِ بالُومار عِدَّةَ تِلِسكُوباتٍ أخرى أصْغَرَ مُساعِدَةٍ.

فَوقُ

تَيكُو براهي (١٥٤٦ – ١٦٠١) فَلَكِيٌّ دانِماركيٌّ قامَ بإنشاء مَرصَدَيْن رائعَيِ ٱلمُعَدّاتِ في يُورانيبُرج وستِيرنبُرغ قُربَ كُوبنهاغِن. وأشْهَرُ إنجازاتِهِ أرصادُهُ ٱلدَّقيقَةُ لِحَرَكاتِ ٱلكواكِبِ وهي ٱلّتي زَوَّدَتْ كِبْلَر بٱلمعلوماتِ ٱللاَّزِمَةِ لِلتَّوَصُّلِ إلى قوانينِ حَرَكَةِ ٱلكواكِبِ.

فَوقُ إلى اليَسارِ

تلسكوب هِيل داخِلَ قُبَّةِ مَرْصَدِ بالُومار. إنَّ قُطرَ ٱلمِرآةِ ٱلمُقَعَّرَةِ لِهٰذا ٱلتِلسكُوب ٥٠٨ سَنْتيمِتراتٍ وهي مُرَكَّزَةٌ في أسفَلِ ٱلأُنبوبِ ٱلفُولاذيِّ ٱلّذي يُشكِّلُ هَيْكَلَ ٱلتِلِسكُوب. ويَجلِسُ ٱلفَلَكِيُّ في قَفَصٍ صَغيرٍ قُربَ أعلَى الأُنبوبِ لِلقيامِ بأرصادِهِ. أمّا الإطارُ النَّضويُّ (الشبيهُ بحَذْوَةِ الفَرَس) وما يتَّصِلُ بِهِ من أنابيبَ فَوظيفَتُها حَمْلُ ٱلتِلِسكُوبِ وتَدويرُهُ في شَتَّى الاتّجاهات.

إلى ٱليَسارِ

يُمكِنُكَ صُنعُ تِلِسكُوبٍ عاكِسٍ بَسيطٍ نيُوتُونيِّ ٱلنَّسَقِ في صُنْدُوقٍ خَشَبيٍّ. ستَحتاجُ إلى مِرآةٍ مُكافِئيَّةِ ٱلمَقْطَعِ ومِرآةٍ صَغيرةٍ مُستَوِيَةٍ وعدسَةٍ مُحَدَّبَةٍ كعَيْنيَّةٍ لِلْمِرقَبِ.

إستِطارةُ ٱلضَّوءِ وٱمتِصاصُهُ

عِنْدَما يَبْلُغُ ضَوءُ ٱلشَّمْسِ جَوَّ ٱلأرضِ يَصْطَدِمُ بِجُزَيْئاتِ ٱلهَواءِ وجُسَيْماتِ ٱلغُبارِ ٱلمُعَلَّقَةِ فيهِ فَيَسْتَطيرُ (أو يَتَشَتَّتُ) بٱتِّجاهاتٍ شَتَّى.

وتُفَسِّرُ ٱستِطارَةُ ٱلضَّوءِ زُرقَةَ ٱلسَّماءِ؛ فٱلضَّوءُ ٱلأبيضُ هُوَ مَزيجٌ مِنَ ٱلألْوانِ ذاتِ ٱلأطوالِ ٱلمَوجِيَّةِ ٱلمُخْتَلِفَةِ. وهٰذِهِ ٱلأطوالُ ٱلمَوجِيَّةُ مُتَبايِنَةُ ٱلاستِطارةِ، فأكثَرُها ٱستِطارةً ٱللَّونانِ ٱلأزرقُ وٱلبَنفسَجيُّ وهٰذا ما يَجْعَلُ لَوْنَ ٱلسَّماءِ أزرقَ نَهارًا. أمّا في ٱلصَّباحِ وٱلمساءِ حِيْنَ تكُونُ ٱلشَّمسُ خَفيضَةً في ٱلأُفُقِ فإنَّ ضَوءَ ٱلشَّمسِ يَقطَعُ مَسافةً طَويلَةً عَبْرَ جَوِّ ٱلأرضِ قَبْلَ أن يَصِلَنا ويَفْقِدُ بالاستِطارةِ نِسْبَةً كَبيرَةً مِن أمْواجِ ٱلأزْرقِ وٱلبَنَفسجيِّ بتأثيرِ جُسَيماتِ ٱلغُبارِ في جَوِّ ٱلأرضِ؛ وهٰذا ما يجعَلُ ضَوءَ الشَّمسِ يَبدو مُحْمَرًّا عِنْدَ ٱلشُّروقِ والغُروبِ.

عِنْدَما يَسْقُطُ ٱلضَّوءُ على جِسْمٍ ما يُعكَسُ بَعْضُه، وَقَدْ يَنْفُذُ بَعْضُهُ، ويُمْتَصُّ ٱلباقِي. وتَعْتَمِدُ كَمِّيَّةُ ذلِكَ على نَوعِيَّةِ مادَّةِ ٱلجِسْمِ، فٱلمَوادُّ غَيْرُ ٱلشَّفّافَةِ كٱلخَشَبِ والمَعادِنِ والفِلِزّاتِ لا تُنْفِذُ ٱلضَّوءَ بَلْ تَمْتَصُّ مُعظمَهُ، وٱلصَّقيلَةُ ٱلسَّطحِ مِنْها تَعكِسُ بَعْضَهُ. أمّا ٱلمَوادُّ الشَّفّافَةُ كٱلماءِ والزُّجاجِ فَتُنْفِذُ مُعْظَمَ ٱلضَّوءِ وتَمْتَصُّ بَعْضَهُ. فٱلذَّرّاتُ وٱلجُزَيئاتُ ٱلمُكَوِّنَةُ لِلمادَّةِ تَمْتَصُّ، بِنِسَبٍ مُتَفاوِتَةٍ، ٱلطّاقَةَ ٱلضَّوئيَّةَ أو الحَرارِيَّةَ أو فَوْقَ ٱلبنَفْسَجِيَّةِ ٱلسّاقِطَةَ عَلَيْها.

تتكَوَّنُ جُزَيئاتُ ٱلمَوادِّ من مَجْمُوعاتٍ ذَرِّيَّةٍ ثُنائيَّةِ ٱلذَّرّاتِ أو مُتَعَدِّدَتِها. وٱلذَّرّاتُ قادِرَةٌ على ٱمتِصاصِ ٱلضَّوءِ وغالِبًا ما تَقْتَصِرُ مَقْدِرَتُها على ٱمتِصاصِ لَوْنٍ واحِدٍ مِن مُكَوِّناتِ ٱلضَّوءِ فَقَط. لكِنَّ ٱلضَّوءَ كَما أسْلَفْنا مُكَوَّنٌ مِنْ سَبْعِ مَجمُوعاتٍ لَوْنِيَّةٍ هِيَ ألوانُ قَوسِ ٱلقُزَحِ. وكُلٌّ مِنَ ٱلمَجموعاتِ ٱلسَّبْعِ تَنْطوي على مِئاتٍ مِنَ ٱلألوانِ ٱلمُتَقارِبَةِ ٱلدِّخْلَةِ. ولِكُلٍّ مِن هذه ٱلألوانِ ٱلمُتَعَدِّدَةِ **طُولُهُ ٱلمَوْجِيُّ وتَرَدُّدُهُ** ٱلمُمَيَّزُ. (أُنظُر صفحة ١٣٨).

فَعِنْدَما يَسقُطُ ٱلضَّوءُ على مادَّةٍ ما تَمْتَصُّ ذرّاتُ ٱلمادَّةِ بَعضَ مُكَوِّناتِهِ وتَعْكِسُ أو تُنْفِذُ ٱلباقِي. وهذهِ ٱلمُكَوِّناتُ ٱلمُتَبَقِّيَةُ ٱلمُنْعَكِسَةُ (أوِ ٱلنّافِذَةُ) إلى ٱلعَيْنِ هِيَ ٱلَّتي تُحَدِّدُ لَوْنَ ٱلجِسْمِ.

وحينَما تَمْتَصُّ ذَرَّةٌ ضَوءًا عادِيًّا أو فَوْقَ بَنَفْسَجِيٍّ تَزْدادُ طاقَتُها فَتُصبِحُ **مُثارَةً**. وٱلذَّرَّةُ ٱلمُثارَةُ غَيْرُ مُسْتَقِرَّةٍ – ولا بُدَّ لَها مِنَ ٱلتخَلُّصِ من تِلْكَ الطّاقَةِ ٱلزائدةِ، ويَتِمُّ لَها ذلِكَ غالِبًا بابتِعاثِ ضَوءٍ أو إشعاعٍ فوقَ بَنَفْسَجِيٍّ من طُولٍ مَوجِيٍّ مُماثِلٍ. وتَقُومُ بَعْضُ ٱلذَّرّاتِ بٱمتِصاصِ ضَوءٍ مِن طولٍ مَوجِيٍّ مُعَيَّنٍ وتَبْتَعِثُه

فَوقُ

إستِطارةُ ٱلضَّوءِ. إملأْ كأسًا بٱلماءِ وأَضِفْ إلى ٱلماءِ بِضْعَ قَطَراتٍ مِنَ ٱللَّبَنِ (الحليب). سَلِّطْ ضَوءَ مِصباحٍ كَشّافٍ بٱتِّجاهِ سَطْحِ ٱلسّائِلِ ٱلمُزْبِدِ وسَيَبْدُو ٱلضَّوءُ ٱلمُستَطيرُ مُزْرَقًّا. وَجِّهْ ضَوءَ ٱلمِصباحِ أُفُقِيًّا بٱتِّجاهِكَ مِنَ ٱلجانِبِ ٱلآخَرِ لِلكأسِ فَيَبْدُو ٱلضَّوءُ مُحْمَرًّا.

مَصْدَرُ الأبتِعاث

إلى ٱليسار

بالإمكانِ جَعْلُ ٱلمادَّةِ تَبْتَعِثُ ضَوءًا بٱلإحماءِ. وهذا ٱلضوءُ يُكَوِّنُ طَيْفَ ٱبتِعاثٍ لَدى إمرارِهِ بِمَوْشُورٍ في ٱلمِطيافِ (ٱلسبكتروسكوب) أو في مِرْسَمَةِ ٱلطَّيْفِ (السبكتروغراف). ويتألَّفُ ٱلطَّيْفُ مِنْ خُطوطٍ مُلَوَّنَةٍ مُناظِرَةٍ لِلطُّولِ ٱلمَوجِيِّ لِلضَّوءِ ٱلمُبْتَعَثِ.

فورًا بطُولٍ مَوجيٍّ أكبَرَ وهُو ما يُعْرَفُ **بالتَفَلْوُرِ** فتُسَمَّى المادَّةُ مادَّةً **مُتَفَلْوِرَةً** أو **فَلْوَرِيَّة**. أمَّا إذا تأخَّرتِ الذرَّاتُ قليلًا في ٱبتِعاثِ الضَّوءِ المُمْتَصِّ فتُسَمَّى المادَّةُ **مادَّةً مُتفَسْفِرَةً**. وتُستَخْدَمُ المُتَفَسْفِراتُ في سَتائِرِ (شاشاتِ) **التِّلفِزيون**.

والمَبْحَثُ الَّذي يُعالِجُ ٱمتِصاصَ الذرَّاتِ لِلضَّوءِ وٱبتِعاثَه يُعْرَفُ **بالمِطْيَافِيَّةِ** أو عِلمِ الطَّيفِ، ويُسْتَخْدَمُ في البُحوثِ العِلميَّةِ والطِّبِّ والصِّناعَةِ والدِّراساتِ الفَلكيَّةِ. والمِطيَافِيَّةُ وَسيلَةٌ لِتَحليلِ المَوادِّ وتَمييزِها، وقَدْ توَصَّلَ العُلَماءُ عَن طَريقِها لِمَعْرِفَةِ الكَثيرِ عَن تَركيبِ الذَّرَّةِ والجُزَيئاتِ.

وتُسْتَخْدَمُ **مِرْسَمَةُ الطَّيفِ** (السبِكْتروغراف) في دراسَةِ ٱمتِصاصِ الضَّوءِ وٱبتِعاثِهِ، فهٰذِهِ الآلَةُ تُحَلِّلُ الضَّوءَ بِمَوْشُورٍ إلى مُكَوِّناتِه اللَّونيَّةِ (أو المَوجيَّةِ) المُخْتَلِفَةِ، ومِنْ ثَمَّ يَسْقُطُ الضَّوءُ على لَوحَةٍ فُوتوغرافيَّةٍ تُسَجِّلُ **طَيْفَ ٱبتعاثٍ** أو **طَيْفَ ٱمتِصاصٍ** مُمَيِّزًا.

إلى اليمين

آندرز أنغستروم (١٨١٤ – ١٨٧٤) فيزيائيٌّ سويديٌّ وَضَعَ أُسُسَ المِطيافيَّةِ كعِلْمٍ. دَرَسَ طَيْفَ الامتِصاصِ الشمسيِّ وبَرهَنَ على وُجودِ الهَيدروجينِ في الشَّمسِ. ووَحْدَةُ الطُّولِ المُساوِيةُ لِـ $\frac{1}{10^{10}}$ مِن المِترِ – وهي الأنغستروم – مُسَمَّاةٌ بِاسمِه.

إلى اليمين

يُستخدمُ المِطيافُ لِدراسَةِ طَيْفِ الأبتعاثِ لِلمصدَرِ الضوئيِّ. تَمُرُّ الحُزْمَةُ الضَّوئيَّةُ عَبْرَ الأنبوبِ «ا» وتَسْقُطُ على المَوشورِ القائِمِ فوق مِنَصَّةٍ دَوَّارَةٍ في وَسَطِ المِطيافِ. ويُوَجَّهُ التلسكوبُ «ب» لِمُراقَبَةِ الضَّوءِ المُنْبَعِثِ بَعْدَ أن يُحَلِّلَهُ المَوشورُ.

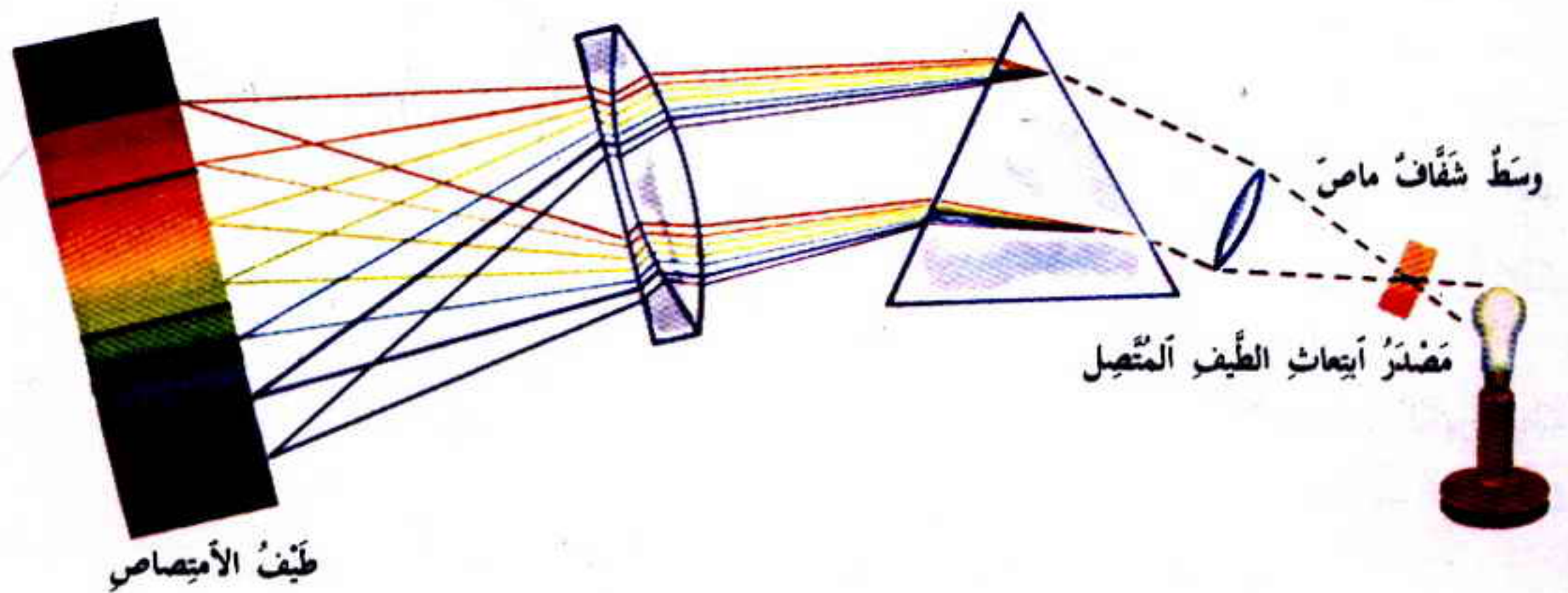
إلى أسفل

طَيْفُ الامتِصاصِ الشَّمسيُّ. تَبْتَعِثُ الشَّمسُ كُلَّ الأمواجِ الضَّوئيَّةِ، لكِنَّ ذَرَّاتِ الغازاتِ في الجَوِّ الشَّمسيِّ تَمتَصُّ بَعْضَ الأطوالِ المَوجيَّةِ المُعيَّنَةِ في أثناءِ مُرورِ الضَّوءِ عَبْرَها. لِذلكَ يَبْدو رَسْمُ الطَّيفِ الشَّمسيِّ مُحَزَّزًا بِخُطوطٍ مُعْتَرِضَةٍ سَوداء تُسَمَّى خُطوطَ فرانْهُوفِر نِسبَةً إلى العالِمِ الألمانيِّ الَّذي لاحَظَها أوَّلَ مَرَّةٍ عام ١٨١٤.

إلى اليمين

لِلحصُولِ على طَيْفِ ٱمتِصاصٍ يُستَخْدَمُ مَصْدَرٌ ضَوئيٌّ يَبْتَعِثُ كافَّةَ الأطوالِ المَوجيَّةِ الضَّوئيَّةِ. ثُمَّ يُمَرَّرُ هذا الضَّوءُ عَبْرَ مادَّةٍ تَمتَصُّ بَعْضَ أطوالِهِ المَوجيَّةِ (بٱمتِصاصِ بَعْضِ مُقَوِّماتِهِ). وعِنْدَ حُصولِ الطَّيفِ يُلاحَظُ ظُهورُ خُطوطٍ سَوداء مُناظِرَةٍ لِلفَجَواتِ الَّتي خلَتْ بٱمتِصاصِ الأطوالِ المَوجيَّةِ المُعيَّنَةِ من الحُزْمَةِ الضَّوئيَّةِ.

الأمواجُ

الضَّوءُ يَجْعَلُنا نُبصِرُ، وعلَيْه يَعْتَمِدُ نُمُوُّ النَّباتِ. إنَّهُ شكْلٌ مِن أشْكالِ الطَّاقَةِ تَحمِلُهُ حُزَمُ الأشِعَّةِ الضَّوئيَّةِ. وهٰذه الأشِعَّةُ تَنْتَقِلُ عَبْرَ الفَراغِ فهيَ لا تَحتاجُ إلى وَسَطٍ (هوائيٍّ أو مادِّيٍّ) تَنْتَقِلُ فيهِ.

ونَسْتَنْتِجُ من تكَوُّنِ الظِّلالِ ومِنْ حِدَّةِ مَعالِمِ أطْرافِها أنَّ أشِعَّةَ الضَّوءِ تَسيرُ في خُطوطٍ مُسْتَقيمَةٍ ولا تَنْحَني عِنْدَ المُنعطَفات. وظاهِرَةُ استِقامَةِ الأشِعَّةِ هٰذِهِ تُساعِدُ في تَفسيرِ ظاهِرَتَي الانعِكاسِ والانكِسارِ.

وفي عامِ ١٦٨٠ اقْتَرَحَ هِيجِنْز طبيعةً **مَوجِيَّةً** للأشِعَّةِ الضَّوئيَّةِ، لٰكِنَّ صِحَّةَ نَظَرِيَّتِه لَمْ تَثْبُتْ إلَّا بَعْدَ قَرْنٍ منَ الزَّمانِ. نَعَمْ إنَّ الضَّوءَ يَسيرُ في اتِّجاهٍ مُستَقيمٍ ولكِنَّ الشُّعاعَ الضَّوئيَّ نَفْسَهُ يَتَمَوَّجُ صُعُودًا وهُبُوطًا في ذُرًى وقَرارات مُتَواصِلَةٍ كالتَّمَوُّجاتِ على سَطْحِ بِركَةِ ماء. وفي مَسْرَى الشُّعاعِ عَبْرَ الفضاءِ تَتساوَى المسافَةُ بَيْنَ أيِّ ذُروتَيْنِ وأيِّ قَرارَيْنِ مُتَجاوِرَيْنِ، وتُعرفُ هٰذِهِ المسافَةُ **بالطُّولِ المَوجي** وهيَ مَسافَةٌ قَصيرَةٌ جدًّا (من ٤ إلى ٧ في العَشَرَةِ آلافِ من المِلّيمتر). أمّا ارتِفاعُ الذُّروةِ أو انخِفاضُ القَرارِ فَيُسمَّى **سَعَةَ المَوجَةِ**. وتَزْدادُ سَعَةُ المَوْجَةِ بازْدِيادِ طاقَتِها والعَكسُ بالعكسِ.

وكُلَّما مَرَّتِ الحَرَكَةُ المَوجِيَّةُ بِذُرْوَةٍ وقَرارٍ (أي بِطُولٍ مَوجيٍّ) تكُونُ قد أنْهَتْ **دَوْرَةً** لِتَبْدَأَ دَوْرَةً أُخرى. وعَدَدُ هٰذِهِ الدَّوراتِ في الثَّانِيَةِ **هُوَ تَرَدُّدُ المَوجَةِ** وهو كَمِّيَّةٌ ثابِتَةٌ تَتَمَيَّزُ بِهِ المَوجَةُ المُعيَّنَةُ.

تَنْتَقِلُ الأمواجُ الضَّوئيَّةُ بِسُرعَةٍ هائلَةٍ، وسُرعَتُها ثابِتَةٌ في وَسَطٍ مُعَيَّنٍ كالهواءِ لكِنَّها تَقِلُّ في الموادِّ الأكثَفِ كالزُّجاجِ والماءِ. وهذا التَّغَيُّرُ في السُّرعَةِ يُسبِّبُ انكِسارَ الضَّوءِ وتغَيُّرَ طُولِهِ المَوجيِّ إذْ إنَّ سُرعَةَ الضَّوءِ في وَسَطٍ ما تُساوي الطُّولَ المَوْجِيَّ مَضْروبًا في التَّرَدُّدِ. وأعلى سُرعَةٍ لِلضَّوءِ هي في الفراغِ، وتَبْلُغُ ٣٠٠ ألفِ كيلُومِتْرٍ في الثّانِيةِ وهي **السُّرعَةُ الأقْصى لأيِّ جِسْمٍ في الفراغِ!**

والمَعروفُ أنَّ كُلًّا مِنْ ألْوانِ الضَّوءِ لَهُ طُولُهُ المَوْجِيُّ المُحَدَّدُ، وهُو لِلضَّوءِ الأحْمَرِ ضِعفُهُ لِلَّونِ البَنَفْسَجيِّ، والأطوالُ المَوجِيَّةُ لِلألوانِ الأُخرى تَتدرَّجُ فيما بينَهُا.

والضَّوءُ لَيْسَ الشَّكْلَ الوَحيدَ لِلطّاقَةِ الَّذي يَنْتَقِلُ بالأمواجِ، فهنالِكَ الأمواجُ الرَّادِيَّةُ (الرادِيُويَّة) والأشِعَّةُ تحتَ الحمراءِ وفَوقَ البَنَفْسَجِيَّةِ وكذلكَ الأشِعَّةُ السِّينِيَّةُ (أشِعَّة إكْس) وأشِعَّةُ غاما وكلُّها تَنْتَقِلُ بالحركةِ المَوجِيَّةِ وتَسيرُ بِسُرعَةِ الضَّوءِ. لكِنَّ أطوالَها الموجيَّةَ المُمَيِّزَةَ (وبالتّالي تَرَدُّداتِها) مُخْتَلِفَةٌ جدًّا. وهي كُلُّها أمْثِلَةٌ على الإشعاعاتِ الكَهْرَمِغْنِيطِيَّةِ، وتَنتَقِلُ كأمواجٍ كَهرمِغنيطِيَّةٍ كَذلكَ.

والمُخَطَّط الَّذي يُبَيِّنُ **الإشعاعاتِ الكَهرمِغْنِيطِيَّةَ** مُرَتَّبةً حَسَبَ أطوالِها المَوجِيَّةِ (تَصاعُدِيًّا أو تَنازُلِيًّا) يُسَمَّى **الطَّيْفَ الكَهرمِغْنيطِيَّ**.

فرينيل

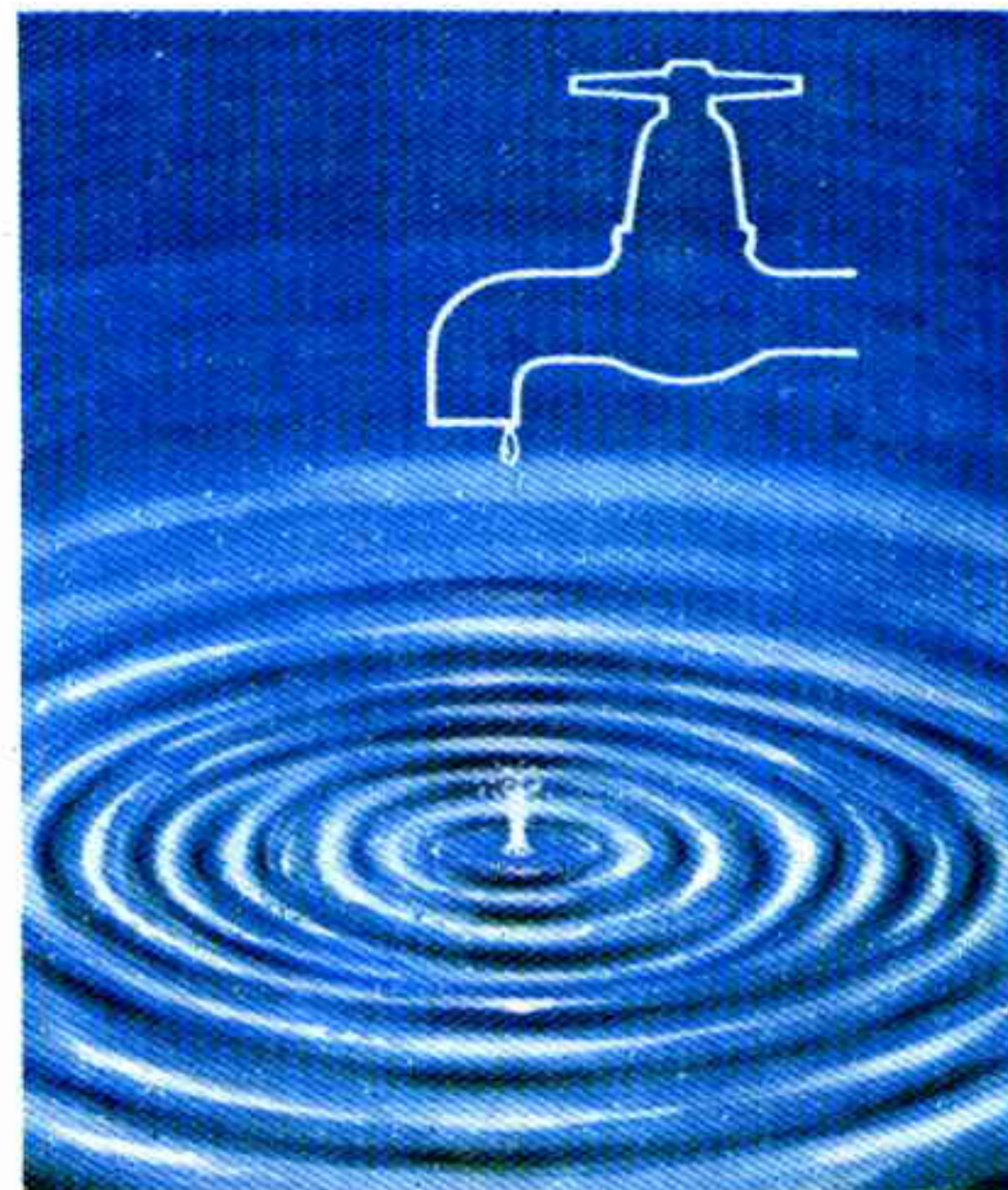
ينج

إلى اليسار

قامَ العالِمانِ أغَسْطين فرينيل (١٧٨٨ – ١٨٢٧) من فَرَنسا وتُوماس يَنْج (١٧٧٣ – ١٨٢٩) من بريطانيا بدِراسَةِ النَّظرِيَّةِ المَوجِيَّةِ لِلضَّوءِ الَّتي وَضَعَها العالِمُ الهولنديُّ كرِيستيان هِيْجنز (١٦٢٩ – ١٦٩٥). وقد استطاعَ يَنْج بَرْهَنَةَ النَّظرِيَّةِ عام ١٨٠١.

بلانك

إلى اليَسارِ

ماكْس بلانْك (١٨٥٨ – ١٩٤٧) فيزيائيٌّ ألمانيٌّ اقْتَرحَ اعتِبارَ الإشعاعاتِ الكَهرمِغْنيطِيَّةِ سَيْلًا من الحُزَمِ الطّاقِيَّةِ الصَّغيرَةِ الَّتي سَمّاها كَمّاتٍ (جَمْع كَمّ)، حينَ عَجِزتِ النَّظرِيَّةُ المَوجِيَّةُ عَن تَفْسيرِ بَعضِ الظَّواهِرِ كامْتِصاصِ الضَّوءِ وانْبِعاثِه. وتَنْتَقِلُ الكَمّاتُ بِسُرعَةِ الضَّوءِ، وتَتَناسَبُ طاقَةُ الكَمِّ مع تَرَدُّدِ الإشعاعِ المُعَيَّنِ. والكَمُّ الضَّوئيُّ يُعْرَفُ بالفُوتُون.

إلى اليسار

إذا أَلْقَيْتَ حَجَرًا في بِركَةٍ ساكِنَةٍ تَنْتَشِرُ من نُقطَةِ سُقُوطِ الحَجَرِ سِلْسِلَةُ تَمَوُّجاتٍ دائِرِيَّةٍ بَعيدًا عَنِ المَركَزِ. وهٰذه التَّمَوُّجاتُ هيَ أمواجُ الطّاقَةِ المُنتَقِلَةُ عَبْرَ الماءِ. والمَسافَةُ بَيْنَ ذُرْوَتَي مَوْجَتَيْنِ مُتَعاقِبَتَيْنِ هيَ الطُّولُ المَوجِيُّ لهٰذِهِ الحَركَةِ التَّمَوُّجِيَّةِ.

ذُروَةُ المَوجةِ
طُولٌ مَوجيٌّ
اتِّجاهُ الحَرَكَةِ
طُولٌ مَوجيٌّ
قَرارُ المَوجَةِ
طُولٌ مَوجيٌّ

طُولٌ مَوجيٌّ
ذُروَةُ المَوجةُ
سَعَةٌ ثابتَة
قَرارُ المَوجَة

إلى اليسارِ

الطُّولُ المَوجيُّ لِلضَّوءِ الأحمرِ (٠٫٠٠٠٠٧ سنتيمتر) هُوَ حوالَى ضِعفِ الطُّولِ المَوجيِّ لِلضَّوءِ الأزرقِ (٠٫٠٠٠٠٤ سنتيمتر). والتَّردُّدُ هو عَدَدُ الدَّوراتِ في الثّانِيَةِ، وسُرعةُ الضَّوءِ تُساوي حاصِلَ ضَرْبِ التردُّدِ في الطُّولِ المَوجيِّ. لِذا فإنَّ تَردُّدَ الضوءِ الأحمرِ هُوَ حوالَى نِصفِ التَّردُّدِ لِلضوءِ الأزرقِ.

ذُروةُ المَوجَةِ
سَعَةٌ مُتَناقِصَة
اتجاهُ الحَرَكة
قَرارُ المَوجة

إلى اليسارِ

تَبقى سَعَةُ المَوجةِ ثابِتَةً ما دامتِ المَوجةُ لَم تُحَوِّلْ طاقَتَها إلى وسَطٍ آخَرَ. وإذا بدأتِ المَوجةُ تَخسَرُ طاقَتَها بِسُرعَةٍ فإنَّ السَّعَةَ تتناقَصُ ولكِنْ بِنِسبَةٍ أبطأَ. ومُرَبَّعُ السَّعَةِ هُوَ قِياسٌ دَليلِيٌّ لِلطّاقَةِ المَوجيَّةِ.

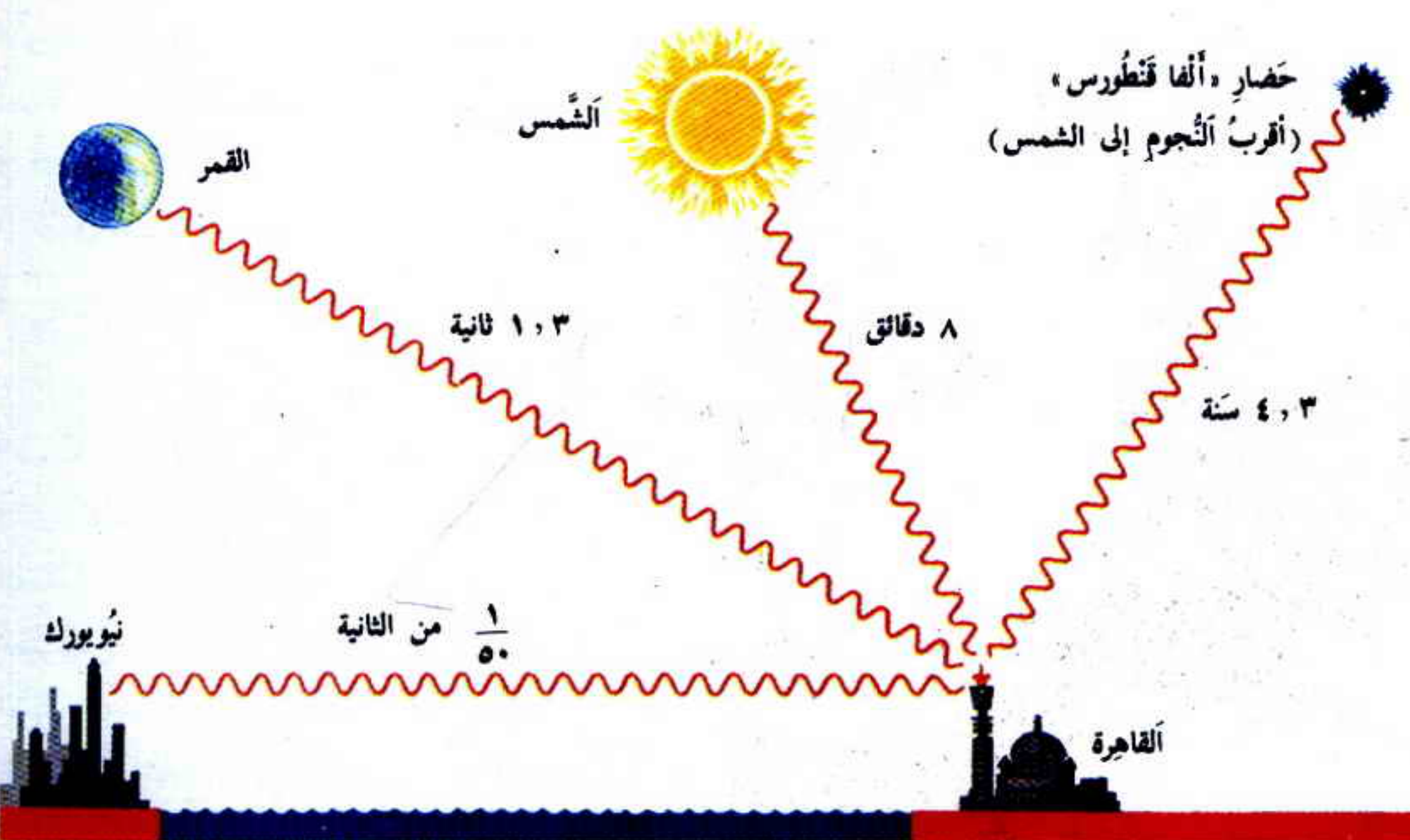
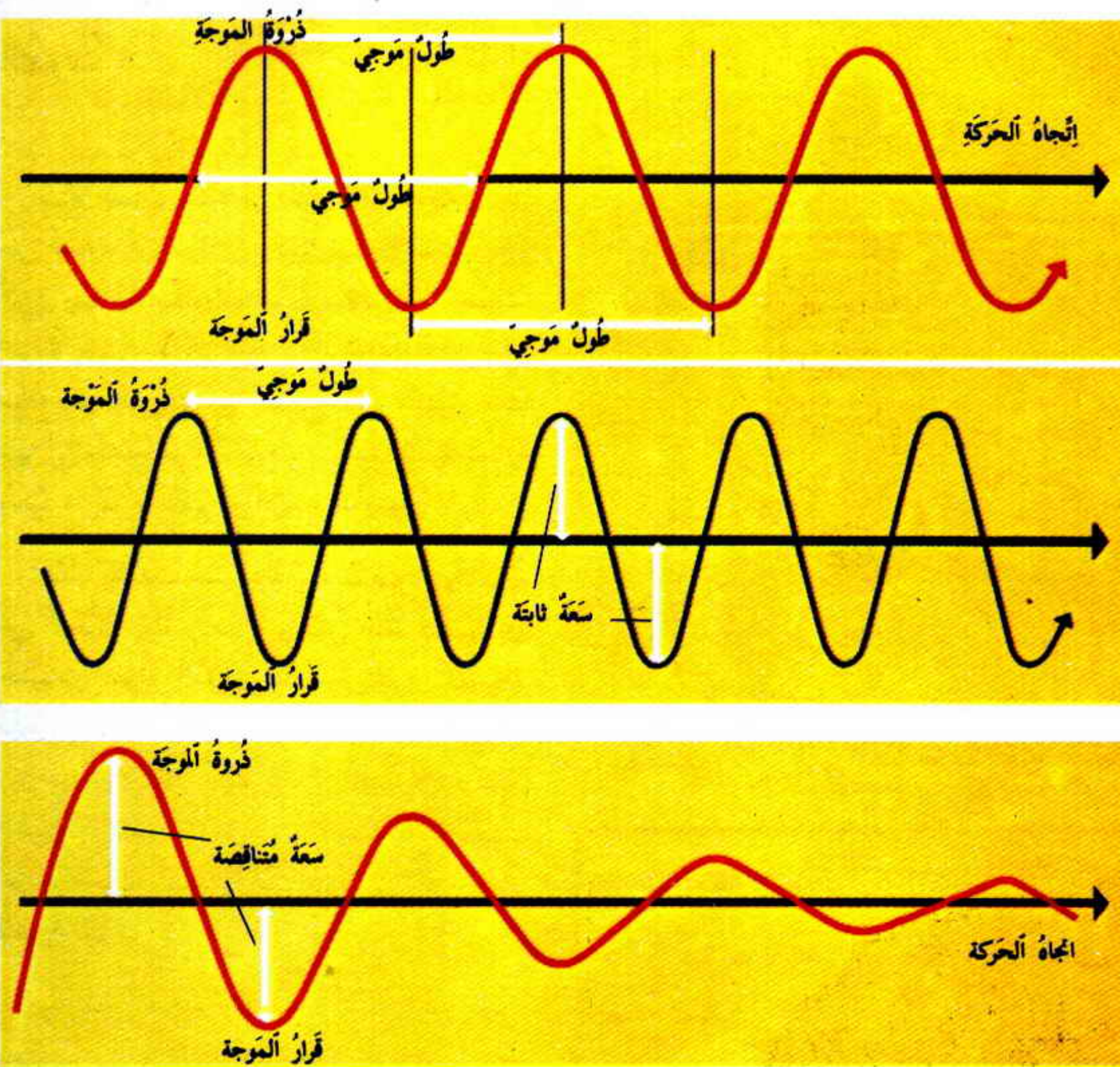
التَّردُّدُ يتزايَدُ
أشِعَّةُ غاما (أشِعَّةُ جيميَّة)
أشِعَّةٌ سِينيَّةٌ (أشِعَّةُ إكس)
إشعاعٌ فوقَ البنفسجي
أشِعَّةُ الضَّوء
إشعاعٌ (حراريٌّ) دُونَ الأحمر
أشِعَّةٌ راديَة (راديَويَّة)
الطُّولُ المَوجيُّ يتزايَدُ

إلى اليسارِ

الطيفُ الكهرمغنيطيُّ. أمواجُ الرّاديُو هي ذاتُ طُولٍ مَوجِيٍّ أكبرَ كثيرًا من أمواجِ الضَّوءِ وهٰذه بدَورِها هي ذاتُ طُولٍ مَوجِيٍّ أكبرَ من أشِعَّةِ غاما والأشِعةِ السِّينيَّةِ. ويُلاحَظُ أنَّ الجُزءَ المَنظورَ منَ الطَّيفِ الكهرمغنيطيِّ ضيِّقُ المَجالِ جدًّا بالنِّسبَةِ لأجزاءِ الطَّيفِ الأخرى.

حَضارِ «ألفا قَنطُورس»
(أقربُ النُّجوم إلى الشمس)
الشَّمس
القمر
١٫٣ ثانية
٨ دقائق
٤٫٣ سَنَة
نيُويورك
$\frac{١}{٥٠}$ من الثانية
القاهِرة

إلى اليسارِ

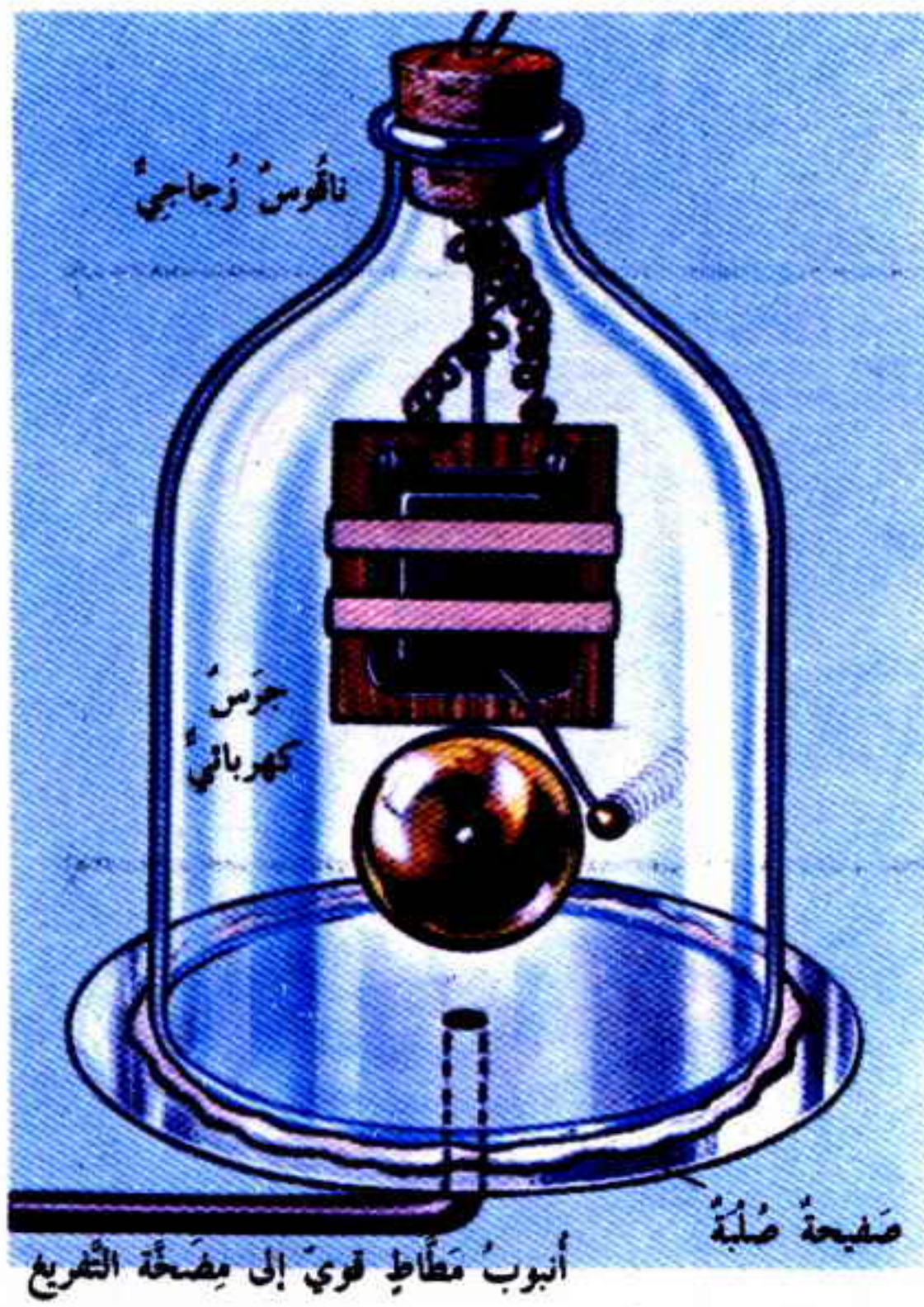
سُرعةُ الضَّوءِ. يَقطَعُ الضَّوءُ (وهو نوعٌ من الأمواجِ الكهرمغنطيَّةِ) المسافَةَ منَ القاهرةِ إلى الأماكنِ المُبيَّنةِ في الأوقاتِ المُحدَّدةِ على الرَّسْمِ.

اَلصَّوتُ

يَنْتُجُ ٱلصَّوتُ دائمًا عَن حَرَكَةٍ ما كَخَبْطَةٍ من يَدِكَ على ٱلطَّاولَةِ أَو نَقْرَةٍ لِوَتَرِ ٱلقِيثارة. والأصواتُ على أنواعٍ مِنها ٱلعَذْبُ ومِنها ٱلمُنكَر. فالموسيقى أصواتٌ إيقاعيَّةٌ يَطيبُ سماعُها عادةً، وَقَدْ تَجِدُ أَنتَ لَذَّةً في سماعِ موسيقى ٱلشَّبابِ ٱلصَّاخِبَةِ بَيْنَما تتضايَقُ أُمُّكَ مِنها. والضَّجيجُ هُوَ أيُّ صَوتٍ لا يَطيبُ لِلمرءِ سَماعُهُ وغالِبًا ما يُعوِزُهُ ٱلنَّغَمُ أوِ ٱلإيقاعُ ٱلمُوسيقيُّ.

عِنْدَما يَتَذَبْذَبُ جِسمٌ فإنَّهُ يُحْدِثُ صَوتًا. والذَّبذَبَةُ هي ٱلتَحَرُّكُ جيئَةً وذَهابًا، وتَنْتَقِلُ طاقَةُ ٱلذَّبذَبةِ إلى جُسَيْماتِ ٱلهواءِ ٱلدَّقيقَةِ (أو جُزيئاتِه) ٱلمُحيطَةِ فَتُحَرِّكُها. وكُلَّما ٱشتَدَّتِ ٱلذَّبذَبَةُ ٱزدادَ عُلُوُّ ٱلصَّوتِ (أو جَهارَتُه). وكُلَّما ٱمتَدَّ ٱنتِشارُ ٱلصَّوتِ ٱزدادَ عَدَدُ ٱلجُزيئاتِ ٱلمُحَرَّكَةِ، وبِذلِكَ تُسْتَنْفَدُ طاقَةُ ٱلصَّوتِ تَدريجيًّا ويُصْبِحُ ٱلصَّوتُ أَخفَتَ، وتُسمّى هٰذِه الظاهِرَةُ **تَوهينَ ٱلصَّوتِ**.

والأَمواجُ ٱلصَّوتِيَّةُ هي ذَبْذَباتٌ تَتَحَرَّكُ عَبْرَ ٱلهَواء. وهيَ غَيْرُ مَرئِيَّةٍ، لكِنْ يُمكِنُ تَمثيلُها بحَرَكَةِ ٱلتَّمَوُّجاتِ في حَقْلِ قَمْحٍ بِفِعْلِ ٱلرِّيح. فَسُوقُ نَبْتاتِ ٱلقَمْحِ تَتَرجَّحُ في مَدًى قَصيرٍ بَيْنَما تُرى ٱلتَّمَوُّجاتُ تَذْرَعُ ٱلحَقْلَ من أَوَّلِهِ إلى آخِره.

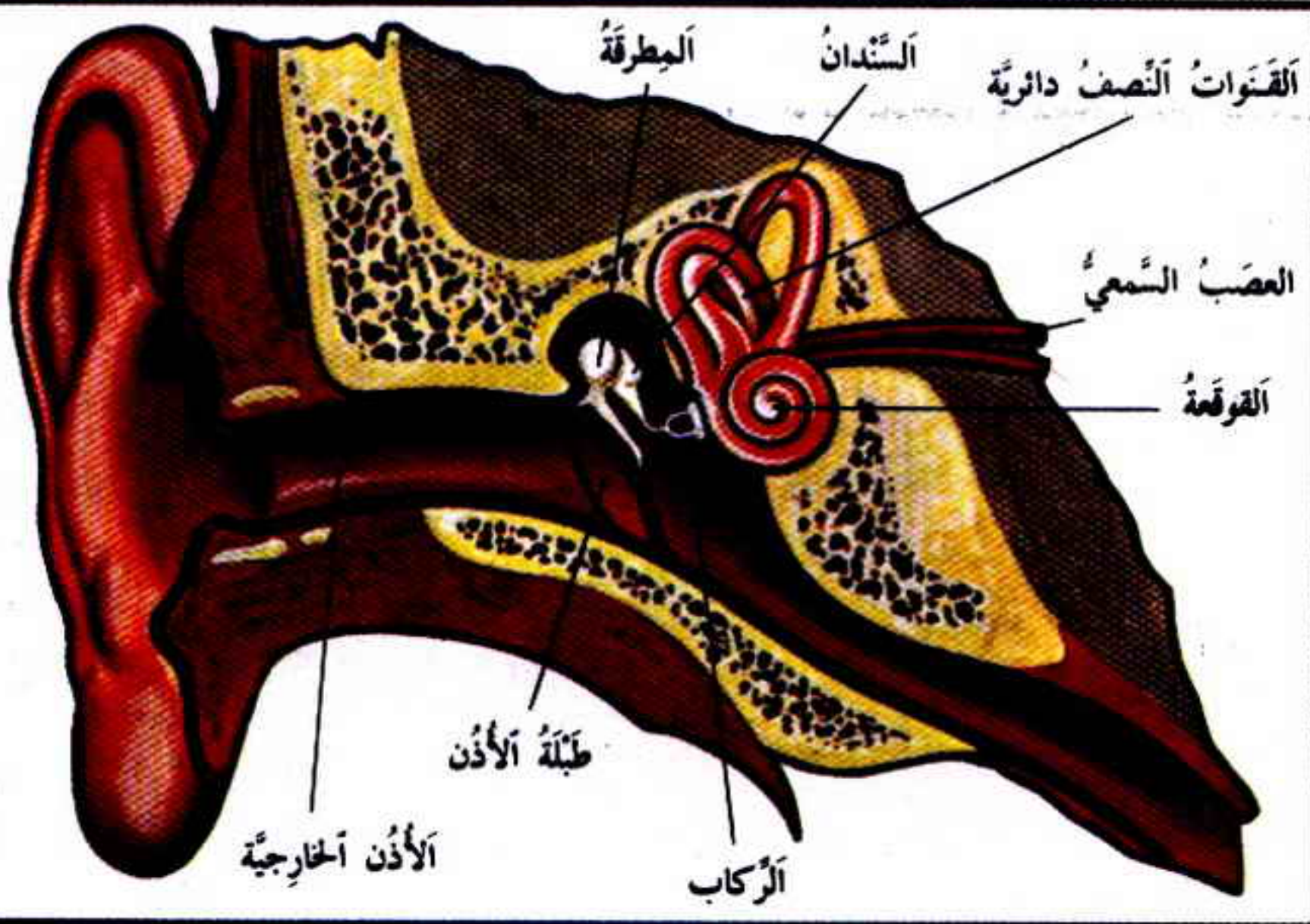
تُحَرِّكُ أَمواجُ ٱلصَّوتِ جُزَيئاتِ ٱلهَواءِ بَعْضَها تجاهَ بَعْضٍ. فَكُلُّ جُزَيءٍ يَصْدِمُ جارَهُ بِدَوْرِهِ ويَرْتَدُّ لمُرونَتِه، فكأَنَّ ٱلجُزيئاتِ تَتَحَشَّدُ وتَرْتَدُّ. ويُسَبِّبُ ٱلتَحَشُّدُ **تَضاغُطًا** (زِيادةً قليلةً في ٱلضَّغْط) كما يَنْتُجُ عَنِ الارتداد تَخَلْخُلٌ (ٱنخفاضٌ قليلٌ) في ٱلضَّغطِ. وهكَذا تُحدِثُ ٱلموجَةُ ٱلصَّوتِيَّةُ تَضاغُطاتٍ وتخَلْخُلاتٍ مُتَوالِيَةً في أَثناءِ ٱنتِقالِها في ٱلهواء. أَمَّا إذا ٱنْعَدَمَ ٱلهَواءُ (كَما هِيَ الحالُ في الفَضاءِ ٱلخارِجيِّ) فإنَّ ٱلصَّوتَ لا يَنْتَقِلُ ولا يُسْمَعُ شَيْءٌ.

والواقِعُ أن ٱلصَّوتَ لا يُسْمَعُ إِلَّا حِينَ تَقَعُ ٱلمَوجَةُ ٱلصَّوتِيَّةُ على (طَبْلَةِ) ٱلأُذُنِ. فَصِوانُ ٱلأُذُنِ هُوَ ٱلقِمْعُ ٱلَّذي يَجْمَعُ أمواجَ ٱلصَّوتِ لِتَمُرَّ في ٱلقناةِ ٱلسَّمْعِيَّةِ ٱلقَصيرَةِ إلى طَبْلَةِ ٱلأُذُنِ. وتَنتَقِلُ ذَبْذَباتُ ٱلأمواجِ ٱلصوتِيَّةِ إلى ٱلطَّبْلَةِ، وتَنْقُلُها هٰذِهِ بِدَورِها عَبْرَ عُظَيْماتِ ٱلأُذُنِ ٱلمُماسَّةِ لَها إلى ٱلأُذُنِ ٱلدَّاخِلِيَّةِ حَيْثُ تحوِّلُها **ٱلقَوقَعَةُ** إلى إشاراتٍ كَهْرَبائِيَّةٍ يَحمِلُها ٱلعَصَبُ ٱلسَّمعِيُّ إلى ٱلمُخِّ.

فَوقُ

إذا شَدَدْتَ رِباطًا مَطّاطِيًّا مُثَبَّتًا من جانِبَيْهِ وأَفْلَتَّهُ فإنَّهُ يُصْدِرُ نَغَمًا رَنينِيًّا. وهٰذا ٱلصَّوتُ ناتِجٌ عَنِ الاصطِدامِ ٱلمَرِنِ بَيْنَ ٱلوَتَرِ ٱلمَطّاطِيِّ وَجُزَيْئاتِ ٱلهواءِ في أَثناءِ ذَبْذَبتِهِ جَيئَةً وذَهابًا.

إلى ٱليمين

ثَبِّتْ جَرَسًا كَهرَبائِيًّا في ناقوسٍ زُجاجيٍّ وضَعِ ٱلنَّاقوسَ فوقَ مِنَصَّةِ مُفَرِّغَةِ ٱلهَواء. بَعْدَ تَفريغِ هَواءِ ٱلنَّاقوسِ لا نَسْمَعُ ٱلصَّوتَ بينَما نَظَلُّ نَرى مِدَقَّةَ ٱلجرسِ تَتَحرَّكُ جَيئَةً وذَهابًا. وتُبَيِّنُ هٰذِهِ ٱلتَّجرِبَةُ أَنَّ ٱلصَّوتَ لا يَنْتَقِلُ في ٱلفَراغِ.

فَوقُ

تنقسِمُ ٱلأُذُنُ إلى أقسامٍ ثلاثَةٍ: ٱلأُذُنِ ٱلخارِجيَّةِ وٱلوُسطى وٱلدَّاخِليَّةِ. تَنْتَقِلُ ٱهتِزازاتُ ٱلطَّبلةِ في ٱلأُذُنِ ٱلوُسطى بِواسِطَةِ عُظَيْماتٍ ثلاثٍ، هيَ ٱلمِطرَقَةُ وٱلسَّندانُ وٱلرِّكاب (ٱلمُسَمّاةُ حَسَبَ أشكالِها)، إلى ٱلقوقَعَةِ في ٱلأُذُنِ الدّاخِليَّةِ.

إلى ٱليمين

ٱلطَّبْلُ من آلاتِ ٱلنَّقْرِ ٱلمُوسيقِيَّةِ. ويتأَلَّفُ ٱلطَّبْلُ من غِشاءٍ جِلْدِيٍّ أو لَدائِنِيٍّ مَشدودٍ فَوقَ إطارٍ خَشَبِيٍّ أو مَعْدِنِيٍّ. وٱلطَّبْلُ ٱلجَهيرُ هو أكبَرُ طُبولِ ٱلجَوقَةِ وقُطْرُه يزيد كثيرًا عَن عُمْقِهِ، ويُدَقُّ عادةً بِمِضْرابٍ ذِي رأسٍ لُبادِيٍّ.

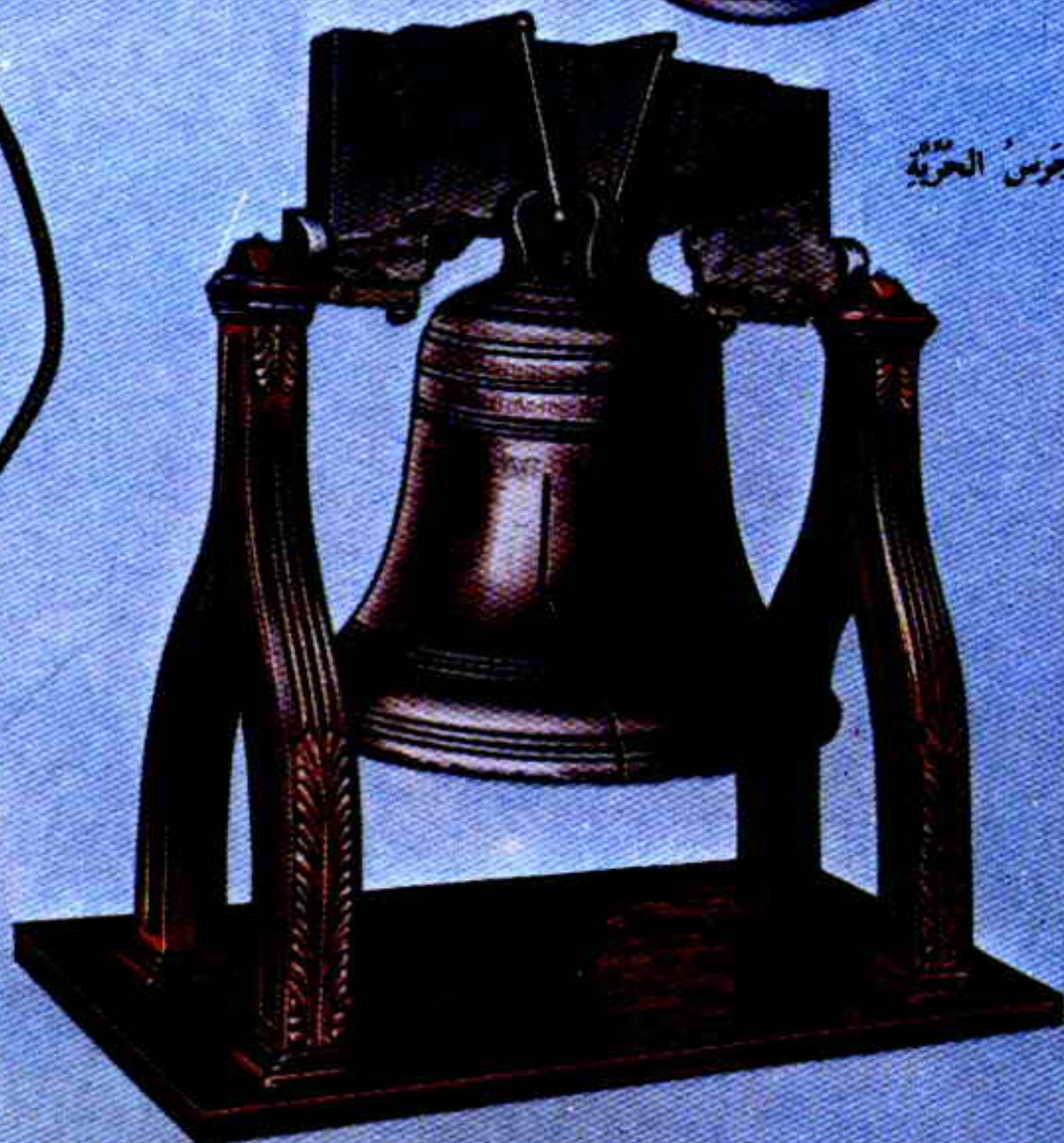
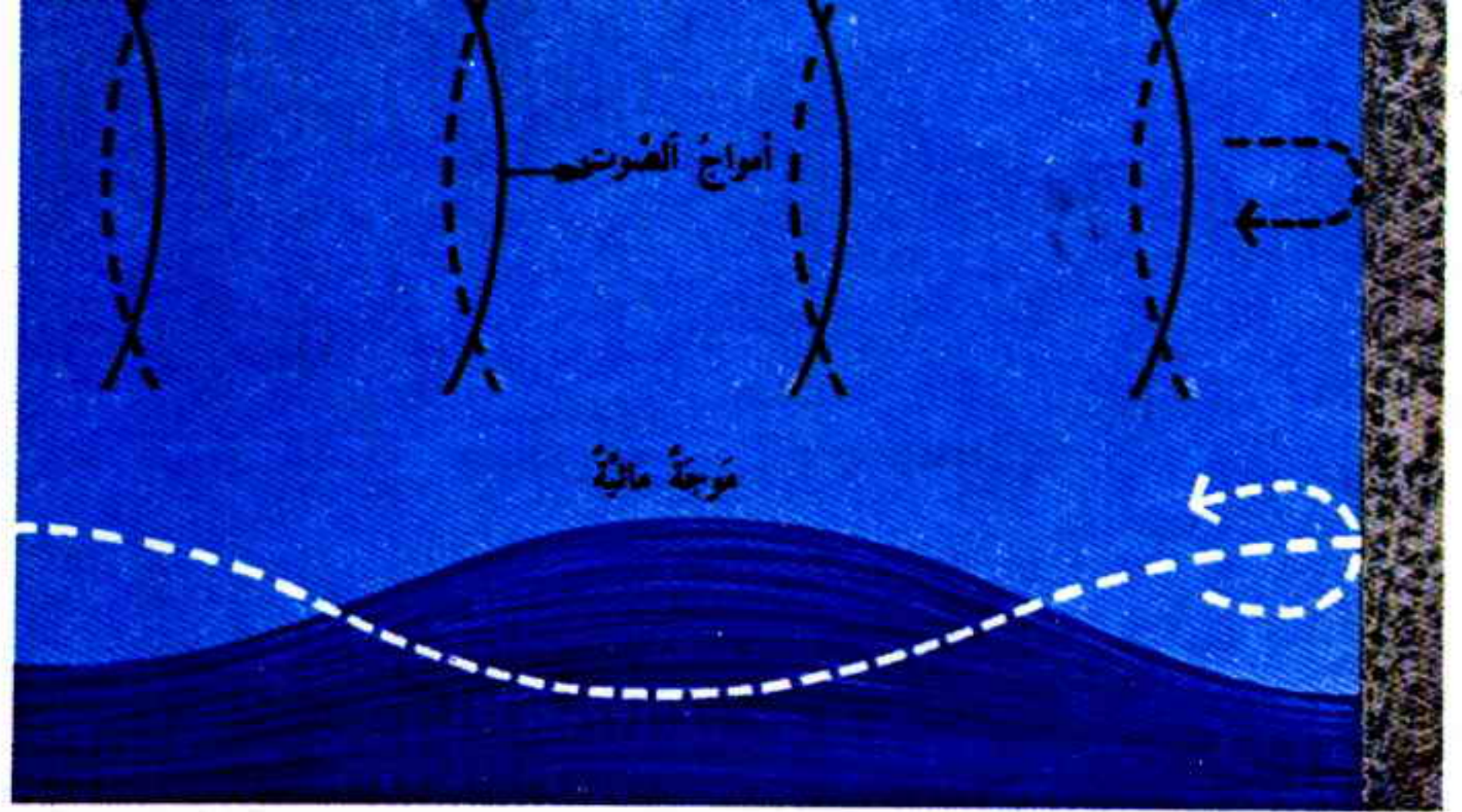
هنالِكَ طُرُقٌ مُتَعَدِّدَةٌ لِتوليدِ ٱلنَّغَماتِ ٱلموسيقيَّة. **فآلاتُ ٱلنَّفْخِ** تُعزَفُ بٱلنَّفْخِ ، **والآلاتُ ٱلوَتَرِيَّةُ** بٱلضَّربِ أو بِجَرِّ ٱلقَوسِ ، **وآلاتُ ٱلنَّقْرِ** بٱلدَقِّ. فٱلجَرَسُ مَثَلًا يُدَقُّ بِمِدَقَّةٍ مِنَ ٱلدَّاخِلِ أو ٱلخارج. وأَقْدَمُ ٱلأجراسِ جَرَسٌ وُجِدَ في بابِلَ يَعُودُ إلى أكثَرَ من ٣٠٠٠ سنَة خَلَتْ. أمّا **مَلِكُ ٱلأجراسِ** ووَزْنُهُ ٢٢٠ طُنًّا فقد صُبَّ في عام ١٧٣٤ وقد سَقَطَ عِنْدَ تعليقِه وظَلَّ جاثِمًا في مَكانِه بٱلكرمْلين في مُوسكو. ومن أشهرِ ٱلأجراسِ في ٱلعالَمِ جَرَسُ «بيغْ بِن» في لَنْدَنَ وجَرَسُ ٱلحُرِّيَّةِ في فِيلادِلْفيا.

إلى ٱليسار

ساعةٌ مُنَبِّهَةٌ ذاتُ جَرَسَيْنِ تَتَحَرَّكُ بَيْنَهُما مِدقَّةٌ لِدَقِّها. مُعظَمُ المُنَبِّهاتِ أجراسُها داخِلِيَّةٌ ، وقَدْ تكُونُ آلِيَّةً تعملُ بِطاقَةِ ٱلزُّنبركِ فَتُبْرَمُ (لِلتَّعبِئةِ) أو تَعْمَلُ بٱلكَهرباء.

إلى ٱليسار

أنواعٌ مُخْتَلِفَةٌ من ٱلأجراسِ. عِنْدَ ضَغْطِ ٱلإبهامِيَّةِ في جَرَسِ ٱلدَّرَّاجَةِ تَدورُ مِروحَةٌ داخِلَ ٱلجَرَسِ فتَدُقُّ جَوانِبَهُ وتَبْعَثُ رَنينًا شِبْهَ مُتَّصِلٍ. وَيُدَقُّ ٱلجَرَسُ ٱليَدَوِيُّ بأرْجَحَتِهِ لِتَدُقَّ مِطْرَقَتُه جَوانِبَهُ. وفي ٱلجَرَسِ ٱلكهربائيِّ تَعْمَلُ آلِيَّةٌ كَهْرَمِغنيطيَّة على وَصلِ ٱلتَّيَّارِ وقَطعِهِ لِتحريكِ ٱلمِطْرَقَةِ جَيْئَةً وذهابًا فتدُقُّ الجرس. وأقدمُ الأجراسِ ٱلمَعروفَةِ جرسٌ بابليٌّ يَزيدُ عُمْرُه على ٣٠٠٠ سنَة. وتَعُودُ شُهْرَةُ جَرَسِ ٱلحُرِّيَّةِ إلى أنّه ٱلجَرَسُ ٱلَّذي قُرِعَ تَحيَّةً لِتَوقيعِ إعلانِ الاستِقلالِ ٱلأمريكِيِّ عام ١٧٧٦.

جَرَسٌ يَدَوِيٌّ

جَرَسٌ دَرَّاجَةٍ

جَرَسٌ كَهْرَبائِيٌّ

جَرَسُ ٱلحُرِّيَّةِ

جَرَسٌ بابليٌّ

اَلصَّدى وَٱلسَّمْعِيّاتُ

يَحْدُثُ ٱلصَّدى عِندما تَصْطَدِمُ أَمواجُ ٱلصَّوتِ بِحاجِزٍ يَعْكِسُها، وهٰذا ٱلحاجِزُ قَدْ يَكُونُ صَخْرَةً أو جَبَلًا أو جِدارًا عالِيًا. وسَمَاعُ ٱلصَّوتِ ٱلمُنعَكِسِ هُوَ ٱلصَّدى، وٱلفاصِلُ ٱلزَّمَنِيُّ بَيْنَ ٱلصَّوتِ وٱلصَّدى هو ٱلزَّمَنُ ٱلَّذي تَسْتَغرِقُه أمواجُ ٱلصَّوتِ في ٱنتِقالِها لِتَصْطَدِمَ بِٱلحاجِزِ ثُمَّ لِتَعُودَ إلى ٱلسَّامِعِ. والصَّدى أَخْفَتُ مِنَ ٱلصَّوتِ ٱلأصلِيِّ لأنَّ أمواج ٱلصَّوتِ تَخْسَرُ من طاقَتِها في الآنتِقال إلى ٱلحاجِزِ والآرتدادِ عَنْهُ.

تَسْتَخْدِمُ ٱلحِيتانُ وٱلدَّلافِينُ وٱلخَفافيشُ وغَيرُها مِنَ ٱلحَيَواناتِ ٱلصَّدى لِتَوجيهِ سَيْرِها وتَحديدِ مَواقِعِ فَرائِسِها. فهِيَ تَبعَثُ أصواتًا في شَتَّى الآتِّجاهاتِ وتَتَبَيَّنُ مِنْ مَسْرَى ٱلصَّدى ٱلعائدِ مَواقِعَ ٱلحَواجِزِ أو ٱلفَرائسِ مِنْها.

ويُساعِدُ ٱلصَّدى ٱلصَّيّادِينَ في تَحديدِ مَواقِعِ أَسْرابِ ٱلسَّمَكِ كما يُساعِدُ ٱلجيُولوجِيِّينَ في كَشْفِ ٱلثَّرَواتِ ٱلمَعْدِنِيَّةِ تَحتَ سَطْحِ الأرْضِ.

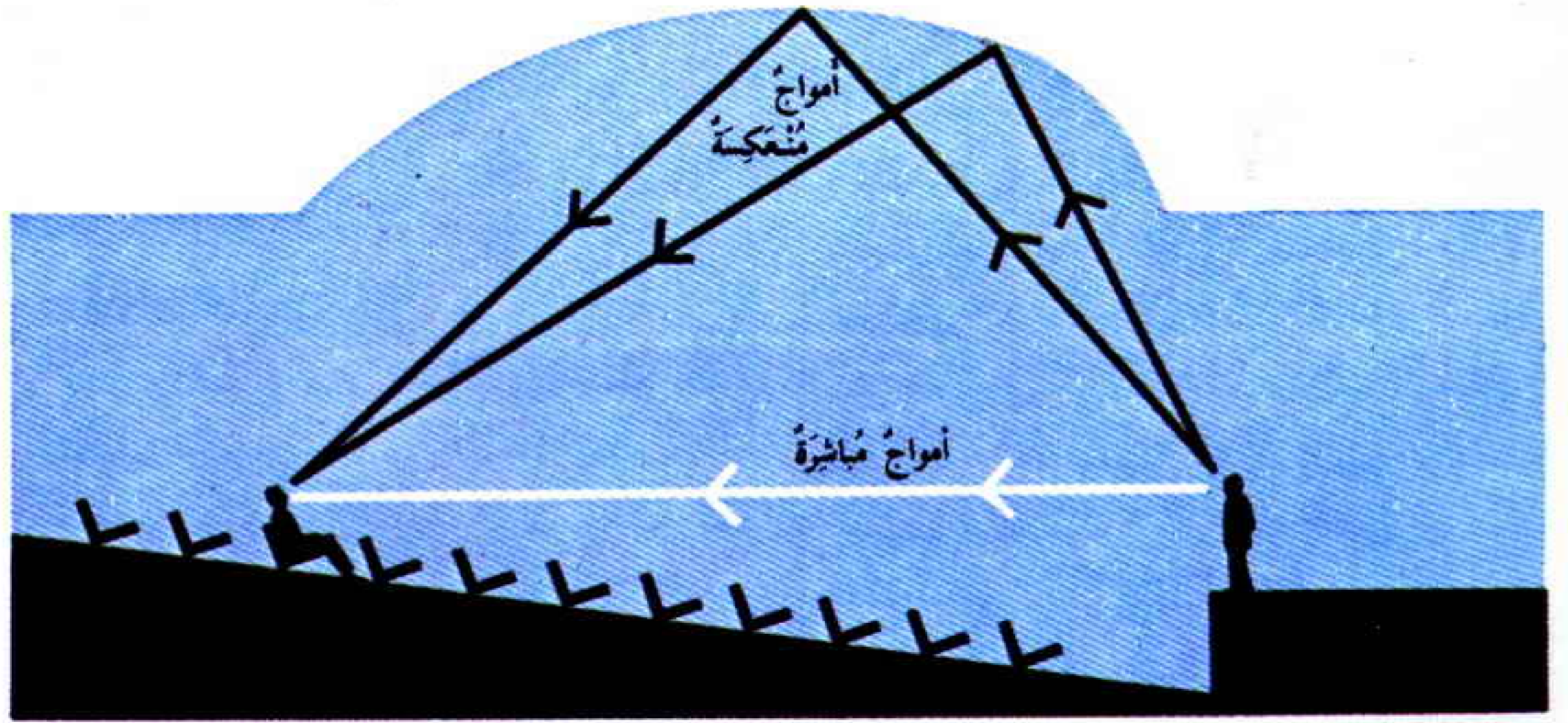
فَوق

يَرتَدُّ صَدى مَوْجَةِ ٱلصَّوتِ عَنِ ٱلحاجِزِ ٱلذي يَعْتَرِضُها كَما تَرتَدُّ تَمَوُّجاتُ ٱلماءِ عِنْدَ ٱصطِدامِها بِجِدارٍ شاطِئِيٍّ.

إلى ٱليَسار

يُطلِقُ ٱلخُفّاشُ في أثناءِ طَيَرانِهِ أصواتًا عالِيَةَ ٱلحِدَّةِ، فإذا ٱصطَدَمتْ هٰذِهِ ٱلتَّمَوُّجاتُ بِحَشَرَةٍ مَثَلًا تَرتَدُّ أَصداؤُها إلى أُذُنَي ٱلخُفّاشِ. وبِمَزيدٍ مِنَ الأصواتِ وٱلأصداءِ ٱلمُرتَدَّةِ يُحَدِّدُ ٱلخُفّاشُ سَيْرَهُ نَحْوَ ٱلفَريسَةِ ويَلْتَقِطُها.

إلى ٱليَسار

مَقْطَعٌ جانِبِيٌّ لِحَقْلٍ نِفْطِيٍّ. يُفَجِّرُ ٱلمُنَقِّبُونَ عَبْوَةً تَحْتَ سَطْحِ ٱلأرضِ تُرسِلُ أصواتًا نَحْوَ طَبَقاتِ ٱلأرْضِ ٱلسُّفْلَى. وٱلأصداءُ ٱلمُرتَدَّةُ عَنِ ٱلطَّبَقةِ ٱلنِّفطِيَّةِ ذاتُ خَصائصَ مُمَيَّزَةٍ تُسَجِّلُها مِرْسَمَةُ ٱلزَّلازِلِ (**ٱلسِّيزْمُوغراف**). وبِهذِهِ ٱلوَسِيلَةِ يَسْتَطيعُ ٱلجيُولُوجِيُّونَ تَحديدَ مَناطِقِ ٱلزَّيتِ وٱقتِراحَ أفْضَلِ ٱلمَواقِعِ لِحَفْرِ ٱلآبارِ فيها.

إلى اليمين

السَّمْعيَّاتُ في قاعةٍ مُقبَّبةٍ. يتحقَّقُ وُضوحُ السَّمْعِ الأقصى للكلامِ إذا بلغَ الفارقُ الزَّمنيُّ بَيْنَ سَماعِ الصَّوتِ المُباشرِ والمُرتدِّ (المُنعكِسِ) $\frac{1}{20}$ من الثانيةِ – أي حينًا تقطَعُ الأمواجُ المُنعكِسةُ حوالى ١٧ مِترًا أكثرَ من الأمواجِ المُباشِرَةِ. أمّا للاستماعِ الموسيقيِّ فالفارقُ الزمنيُّ المِثاليُّ هو $\frac{1}{15}$ من الثانيَةِ.

فوق

يُمكِنُ قِياسُ عُمقِ المُحيطِ بقياسِ الزَّمَنِ الَّذي تَستغرِقُهُ الإشارةُ الصَّوتيَّةُ ذَهابًا وإيابًا من وَقْتِ إرسالِها حتى استقبالِ صَداها المُرتدِّ من القاعِ. إنَّ حاصِلَ ضَربِ نِصفِ هٰذا الزَّمنِ في سُرْعَةِ الصَّوتِ في الماءِ هو العُمقُ المُبيَّنُ. وتُجرى عادةً قِراءاتٌ مُتعدِّدةٌ أوتوماتيَّةٌ في عَمليَّاتِ مَسْحِ القِيعانِ البَحْرِيَّةِ القريبةِ من الشَّواطِئِ.

والسَّمْعيَّاتُ أو عِلمُ الصَّوتِ هو دِراسَةُ الصَّوتِ في أثناءِ انتِقالِهِ في مَكانٍ مُعيَّنٍ، أو هُوَ دِراسَةُ الخَصائصِ الصَّوتيَّةِ لِلْمكانِ الَّذي يُفْتَرَضُ أن يَصِلَ فيهِ الصَّوتُ إلى السّامِعينَ بوُضُوحٍ كالسِّينما أو القاعةِ الموسيقيَّةِ أو غُرفَةِ الصَّفِّ مَثَلًا. فَفي القاعَةِ الكَبيرةِ ذاتِ الجُدرانِ الصُّلْبَةِ المُستَويَةِ تَنْعَكِسُ أَصْداءُ الصَّوتِ عنِ الجُدرانِ وتَختلِطُ بالصَّوتِ الأَصليِّ فيَسمَعُ الحاضِرُونَ خَليطًا مُشَوَّشًا من الأصواتِ مَهْما كانَ الصَّوتُ الأصليُّ واضِحًا. ويُعالَجُ **تَزْدادُ الأصداءِ** هٰذا بتَغْطِيَةِ الجُدرانِ بمادَّةٍ لَيِّنَةٍ وتَعْلِيقِ السَّتائرِ واستِخْدامِ المقاعِدِ اللِّبْديَّةِ الحَشْوِ لامتِصاصِ الصَّوتِ ومُضاءلَةِ الأَصْداءِ. والقاعَةُ الغاصَّةُ بالنّاسِ أَقلُّ إصْداءً من القاعةِ الخالِيَةِ، فالنّاسُ وثِيابُهم يَمْتَصُّونَ الصَّوتَ أيْضًا.

وتُصَمَّمُ قاعاتُ المَسارحِ بحَيْثُ يَصِلُ الصَّوتُ واضِحًا إلى كُلِّ أَرجائها. فَبَعْضُ الصَّوتِ يُسمَعُ مُباشَرَةً من مَصْدَرِهِ وبَعْضُه يُسْمَعُ بَعْدَ انعكاسِهِ عَنِ الجُدرانِ والسَّقْفِ ولا بُدَّ مِن اعتِبارِ هٰذهِ المَسافاتِ وضَبْطِها بعِنايَةٍ لِتَقْليلِ الصَّدى.

والصَّوتُ يَحتاجُ إلى وَسَطٍ كالهواءِ يَنْتَقِلُ فيهِ. وذَبْذَباتُ جُزَيئاتِ الوَسَطِ المادِّيِّ هيَ الَّتي تَنْقُلُ الصَّوتَ منَ المَصْدَرِ إلى السّامِعِ. والسَّوائلُ والأَجْسامُ الصُّلْبَةُ أفضَلُ تَوصيلًا لِلصَّوتِ من الهواءِ.

وتَعْتَمِدُ سُرعَةُ انتِقالِ أمواجِ الصَّوتِ على طبيعةِ الوَسَطِ، فهيَ أَسْرَعُ في الوَسَطِ الأَكْثَفِ كالماءِ والزُّجاجِ والحديدِ مِنْها في الهواءِ. ويُمكِنُ قِياسُ سُرعَةِ الصَّوتِ في الهواءِ بوَضْعِ عَبْوَةٍ مُتَفَجِّرَةٍ على بُعْدِ كيلومِتْرٍ مِنْ آلَتَيْ قِياسٍ إحْداهُما تُسَجِّلُ وَميضَ الانْفِجارِ والأُخرى تُسَجِّلُ دَوِيَّهُ. إنَّ الزَّمَنَ بَيْنَ الوَميضِ والدَّوِيِّ هُوَ الوَقْتُ الَّذي استَغرَقَهُ الصَّوْتُ في قَطْعِ المَسافَةِ – إذْ إنَّ الضَّوْءَ يَقْطَعُ هٰذِهِ المَسافَةَ في زَمَنٍ يَكادُ لا يُذْكَرُ (جُزْء من ٣٠٠ ألف من الثّانِيَةِ). فإذا كانَ الفارقُ الزَّمَنِيُّ بَيْنَ الوَميضِ والدَّوِيِّ ثَلاثَ ثَوانٍ عَرَفْنا أَنَّ الصَّوْتَ يَقْطَعُ حوالَى ٣٣٣ مِترًا في الثّانِيَةِ.

ويُلاحَظُ في العَواصِفِ الرَّعْدِيَّةِ أنَّ وَميضَ البَرْقِ يَسْبِقُ قَصْفَ الرَّعْدِ دائمًا. فإذا حَسَبْتَ الثَّوانيَ بَيْنَ وَميضِ البَرْقِ وقَصْفَةِ الرَّعْدِ الأُولى وقَسَمْتَ العَدَدَ على ثَلاثةٍ تَحْصُلُ على بُعْدِ العاصِفَةِ الرَّعْدِيَّةِ عَنْكَ بالكيلومِتْراتِ.

إلى اليمين

قاعَةُ الهَمْسِ في كَنيسَةِ القِدّيسِ بُولُسَ بلَنْدن. إذا هَمَسَ أحَدٌ بالقُربِ من الجدارِ في هٰذهِ القاعَةِ يَنْعكِسُ الصَّوتُ حَولَ الجدارِ ويُمكِنُ سَماعُهُ في الجانِبِ الآخَرِ من القاعَةِ.

اَلآلاتُ اَلوتَرِيَّةُ

اَلآلاتُ اَلمُوسِيقِيَّةُ اَلوَتَرِيَّةُ تَشْمَلُ اَلكَمانَ والرَّبابة والجيتارَ والتشيلِلُو والقيثارَ (الهارْبَ) والبانْجُو والعُودَ والمانْدُولين والقانونَ والبيانُو وغيْرَها. وتتألَّفُ الآلةُ الوَتَرِيَّةُ من جُزأينِ رئيسيَّيْن: الأوتارِ وجِسْمٍ يُنَغِّمُ الصَّوتَ أو يَرخِّمُهُ عِنْدَما تهتَزُّ الأَوتارُ.

وتَجري ذَبْذَبَةُ الأوتارِ في هذهِ الآلاتِ بِطُرقٍ شَتَّى – فأَوتارُ الجيتار والقيثارِ والقانونِ والعُودِ تُنْقَرُ، ولعلَّ تِلْكَ هي أَقْدَمُ طُرُقِ العَزْفِ وأَشْهَرُها؛ وأَوتارُ البيانُو تُدَقُّ؛ وأَوتارُ الكمانِ والرَّبابةِ تُحَزُّ بالقَوسِ؛ وهناكَ نوعٌ نادِرٌ مِنَ القيثارِ تُهَزْهَزُ أوتارُهُ بالنَّفْخِ.

تُشَدُّ الأوتارُ عادةً عَبْرَ هَيْكَلٍ أو حامِلٍ أو جسمٍ أَجْوَفَ، خَشَبيٍّ غالبًا. ويُثيرُ اهتِزازُ الأَوتارِ اهتِزازَ الهواءِ في داخِلِ الحامِلِ فتَتَناغَمُ الأَوتارُ مَعَ الهواءِ المُهْتَزِّ في رَنينٍ أَعلَى وأَغْنَى من صَوتِ الأَوتارِ وَحْدَها.

يُمكِنُكَ صُنْعُ جيتاركَ الخاصِّ من عُلْبَةٍ خَشَبِيَّةٍ (كَصُندوقِ سيجارٍ مَثَلًا) وقِدَّةٍ خَشَبِيَّةٍ عرضُها ٥ سنتيمترات. اِقْطَعْ نافِذَتَيْنِ مُسْتَطيلَتَيْنِ في قاعِ الصُّندوق، ثُمَّ افرِزْ طَرَفَ القِدَّةِ وثَبِّتْها فوقَ الصُّندوقِ بالغِراءِ أو بِبُرغِيَّيْنِ، وأَغلِقِ الصُّندوقَ جيِّدًا. ستَحْتاجُ إلى مِلْوَيَيْنِ لِشَدِّ الوَتَرَيْنِ فإمَّا أنْ تَشْتَرِيَهُما أو تَصْنَعَهما بِنَفْسِكَ. ثَبِّتِ المِلْوَيَيْنِ في ثَقْبَيْنِ تَحْفِرُهُما في طَرَفِ القِدَّةِ الطليق. اُنْشُرْ قِطْعَةَ خَشَبٍ على شَكْلِ مَوشُورٍ ثُلاثيٍّ لِتَجْعَلَ مِنها قَنْطَرَةً أو عَتَبًا لِحَمْلِ الوَتَرَيْنِ.

إنَّ العَتَبَ يَنْقُلُ اهتِزازاتِ الأَوتارِ إلى جِسْمِ الآلَةِ الوَتَرِيَّةِ. ثَبِّتْ طَرَفَي وَتَرَي الجيتارِ بِمِسْمارٍ مُلَولَبٍ في الجانِبِ البعيدِ من الصُّندوقِ ثُمَّ مُدَّ كُلًّا من الوَتَرَيْنِ عَبْرَ العَتَبِ إلى مِلْواهُ في طرفِ القِدَّةِ وشُدَّها جيِّدًا، وبذلكَ يُصْبِحُ جيتارُكَ جاهِزًا لِلْعَزْفِ.

إنَّ **دَرَجَةَ النَّغمةِ (أو طَبَقَةَ الصَّوت)** تَعْتَمِدُ على التَرَدُّدِ أي على عَدَدِ الذَّبذباتِ في الثانِيَةِ، فَكُلَّما ازدادَ تَرَدُّدُ الوَتَرَيْنِ ارتَفَعَتْ دَرَجَةُ النَّغَمِ (وزادَتْ حِدَّتُه).

فوق

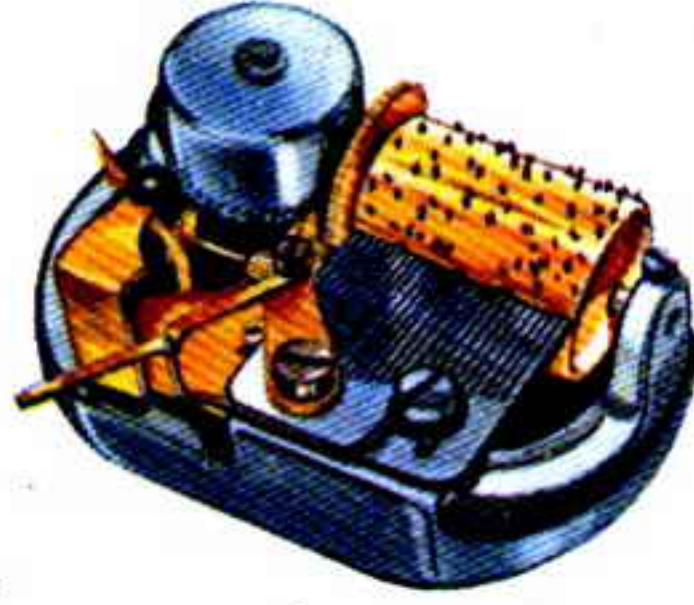
في الجيتارِ سِتَّةُ أوتارٍ تُنقَرُ أو تُداعَبُ، ويُمكِنُ عَزْفُ أَنغامٍ مُختلِفةٍ بِضَغْطِ الإصبَعِ على أيٍّ من الأوتارِ في مَواقِعَ مُحَدَّدةٍ مِن عُنُقِه. وهذهِ المَواقِعُ مُبيَّنَةٌ بأعتابٍ مَعْدِنِيَّةٍ على طُولِ العُنُقِ.

إلى أسفل

لِصُنعِ جيتارِكَ ثَبِّتِ القِدَّةَ في الصُّندوقِ الخَشَبِيِّ كما هو مُبيَّنٌ ثُمَّ مُدَّ الوَتَرَيْنِ بين المِسمارِ المُلَولَبِ ومِلْوَيَي الجيتار. اِستَعْمِلْ وَتَرَيْنِ مُختلِفَيِ الثَّخانَةِ، إذْ إنَّ ذلكَ يُؤثِّرُ في دَرَجَةِ النَّغَمِ. فالوَتَرُ الأرفَعُ يُعطي نَغْمَةً أعلى دَرَجَةً من وَتَرٍ أثخَنَ مُساوٍ لَهُ في الطُّولِ والتَّوتُّرِ.

شُدَّ مِلْوَى أَحَدِ ٱلوَتَرينِ أَكثَرَ مِنَ ٱلآخَرِ، ثُمَّ ٱنقُرْهُما فَتُلاحِظَ أَنَّ دَرجَةَ نَغَمِ ٱلوتَرِ ٱلمَشدودِ أَعلَى. إنَّ زِيادةَ تَوَتُّرِ ٱلوَتَرِ تَرْفَعُ من دَرَجَةِ نَغَمِه. قارِنْ نَغمَةَ ٱلوتَرِ (ذِي ٱلتَوتُّرِ ٱلثَّابِت) حِيْنَ تَنْقُرُهُ وإِصْبَعُكَ تَسْنُدُهُ بِقُوَّةٍ في مُنْتَصَفِهِ مَعَ نَغمَتِهِ دُونَ سَنْدِه بِٱلإصبَعِ. إنَّ تَقْصيرَ ٱلوَتَرِ يَزيدُ أَيضًا من دَرَجَةِ نَغَمِهِ. وقَد اكتَشَفَ ٱلإغرِيقُ قَديمًا أَنَّه إذا أَصْدَرَ ٱلوَتَرُ ٱلمَشدودُ نَغَمةً مُعَيَّنَةً فإِنَّ نِصْفَهُ يُصْدِرُ نَغَمةً أَعلَى ثَمانِيَ دَرَجاتٍ على ٱلسُّلَّمِ ٱلمُوسيقيِّ تُسَمَّى **جَوابَها** أو **ثُمانِيَّتَها**.

وإذا نَقَرْتَ وَتَرَي جِيتارِكَ بِشِدَّةٍ أَكثَرَ فإِنَّهُما يُصْدِرانِ أَنْغامًا أَعلَى شِدَّةً أو جَهارَةً. فَشِدَّةُ ٱلصَّوتِ تَعْتَمِدُ على كَمِّيَّةِ ٱلطَّاقَةِ ٱلَّتي تُحْدِثُ ٱلصَّوتَ، ولعَلَّكَ تَستَطيعُ غِناءَ لَحْنٍ ذِي دَرَجَةٍ (أو طَبَقَةٍ صوتِيَّةٍ) مُساوِيَةٍ لِدَرجَةِ صَفيرِ ٱلقِطارِ، لكِنَّكَ لن تَستَطيعَ غِناءَها بِٱلشِّدَّةِ نَفْسِها. وأَنْتَ عندَما تَنْقُرُ وَتَرَ ٱلجِيتارِ بِشِدَّةٍ أَكثَرَ تَبْذُلُ طاقَةً أَكثَرَ فتَحْصُلُ على أَنْغامٍ أَعلَى شِدَّةً (لكِنْ من ٱلطَّبَقَةِ أو الدَّرجَةِ ذاتِها).

إلى ٱليَمين

صُندوقُ ٱلنَّغَمِ من ٱلدَّاخِلِ. تُدارُ ٱلأُسطُوانَةُ ٱلمُضَرَّسَةُ بِمُحَرِّكٍ تُديرُه آلِيَّةٌ زُنْبُرُكِيَّةٌ. وفي أَثناءِ دَورانِ الأُسطُوانة تَصْطَدِمُ نُتوءاتُها بِشُعَبٍ فُولاذِيَّةٍ فتَهُزُّها. وتُصدِرُ ٱلشُّعَبُ أَنغامًا مُتَفاوِتَةً ومُتَعاقِبَةً بِنَسَقٍ مُوسيقِيٍّ مُحَدَّدٍ.

فوق وإلى اليمين

أَوتارُ ٱلبيانُو أَسلاكٌ مَعْدِنِيَّةٌ مُتَبايِنَةُ ٱلطُّولِ والثخانَةِ مَشْدُودَةٌ إلى إطارٍ مَعْدِنِيٍّ ومُثَبَّتَةٌ في داخِلِ ٱلآلَةِ. ويُمكِنُ جَعْلُ ٱلإطارِ عَمُودِيًّا أو يُبسَطُ أُفُقِيًّا كما في ٱلبيانُو ٱلكَبير. وتُدَقُّ ٱلأَوتارُ بِمَطارِقَ صَغيرةٍ تُشَغِّلُها مَفاتيحُ (أو دَساتِينُ) ٱلبيانُو.

فوقُ

يتأَلَّفُ القِيثارُ (ٱلهارْبُ) من إطارٍ قائِمٍ مُثَلَّثِيِّ ٱلشَّكْلِ، وبِه ٤٦ وتَرًا مُتَفاوِتَةَ ٱلأَطوالِ تُعْزَفُ بِٱلنَّقْرِ.

إلى اليسار

جَوْقَةٌ صَغيرةٌ تتأَلَّفُ من أَرْبَعَةِ عازِفِينَ. يَعْزِفُ ٱثنانِ مِنْهُم على كَمانَيْنِ وثالِثٌ على ٱلتشيلُّلو (وهُو آلَةٌ كالكَمانِ ٱلكَبيرِ ذاتُ أَربَعَةِ أَوتارٍ) بَيْنَما يَعْزِفُ ٱلرَّابِعُ على ضَرْبٍ آخَرَ من ٱلكَمانِ يُسَمَّى ٱلفْيُولا.

اَلأنابيبُ المِزْمارِيَّةُ

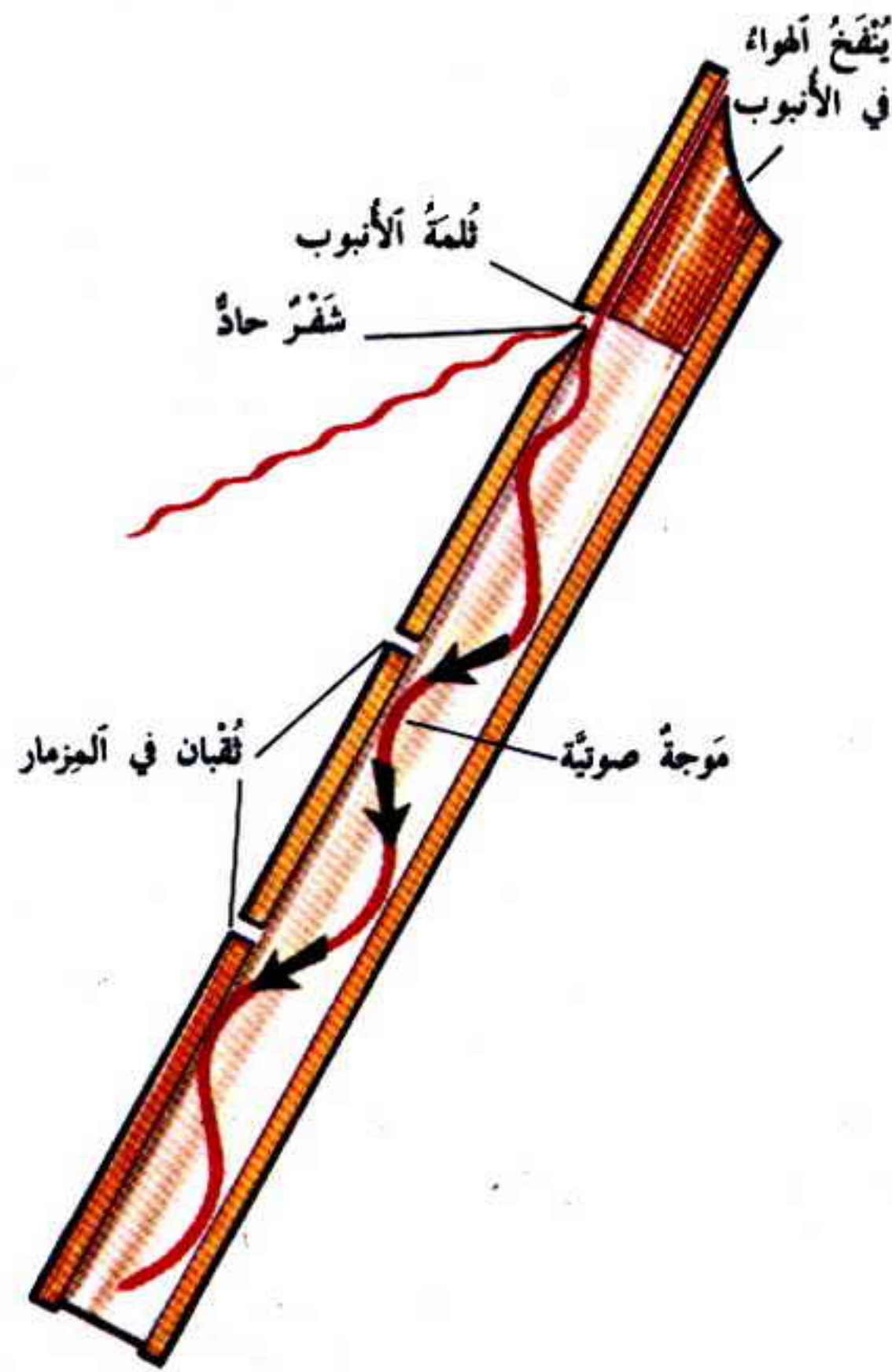
اَلأنابيبُ المِزْمارِيَّةُ تَشْمُلُ آلاتِ النَّفْخِ الموسيقِيَّةَ كالشَّبَّابَةِ (الكلارينيت) والفلوت والنّاي والسُّرْناي (الپيكولو) والأبواقِ بأنواعِها والسّاكسوفون والأُرْغُن وغَيْرِها. فعِنْدَ نَفْخِ الهَواءِ في أيٍّ من هذِهِ الآلاتِ يَهْتَزُّ عَمودُ الهَواءِ بداخِلِها ويُصدِرُ نَغمةً موسيقِيَّةً.

وتَجري ذَبْذَبَةُ الهَواءِ بِنَفْخِهِ عَبْرَ شَفْرٍ في الأنبوبِ؛ فتَحْدُثُ تَموُّجاتٌ في عَمودِ الهَواءِ تُشْبِهُ، لَو كانَتْ مَرْئِيَّةً، تَموُّجاتِ عَلَمٍ يُرَفْرِفُ في مَجْرَى الرِّيحِ.

ويَعْتَمِدُ التَّردُّدُ (عَدَدُ الذّبذباتِ في الثّانيةِ) النّاتِجُ، على طُولِ عَمودِ الهَواءِ داخِلَ الأُنبوبِ. فكُلَّما قَصُرَ عَمودُ الهَواءِ ازدادَ التَّردُّدُ وارتَفَعَتْ طَبَقَةُ الصَّوتِ (أيْ دَرَجَةُ النَّغَمِ). وهكذا يُمكِنُ تَغييرُ طَبَقَةِ النَّغَمِ بفَتْحِ أو إغلاقِ الثُّقوبِ المُنْتَشِرَةِ على طُولِ الأنبوبِ، إذْ إنَّ ذلِكَ يُقَصِّرُ أو يُطَوِّلُ عَمودَ الهَواءِ المُهتَزِّ.

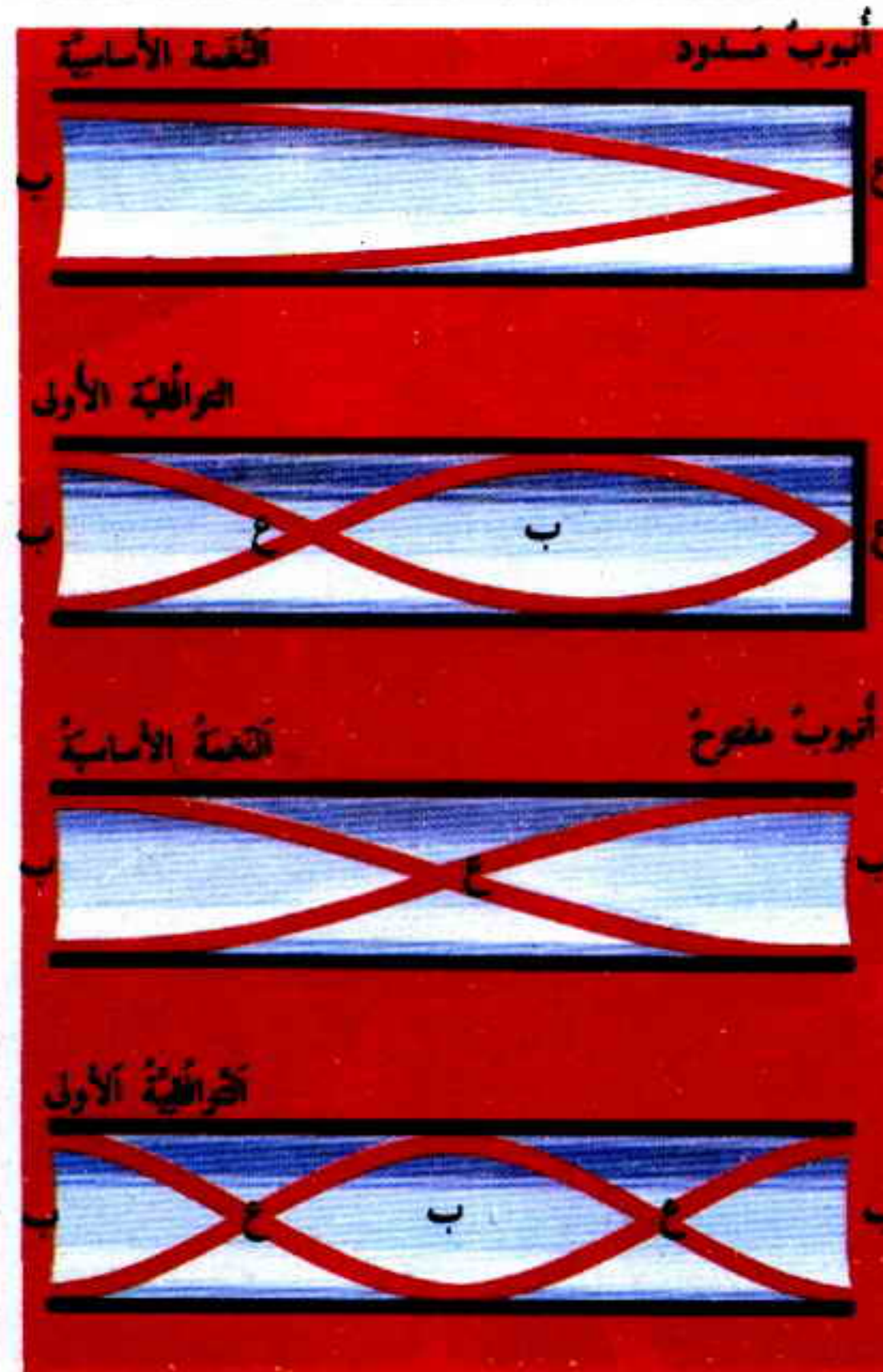
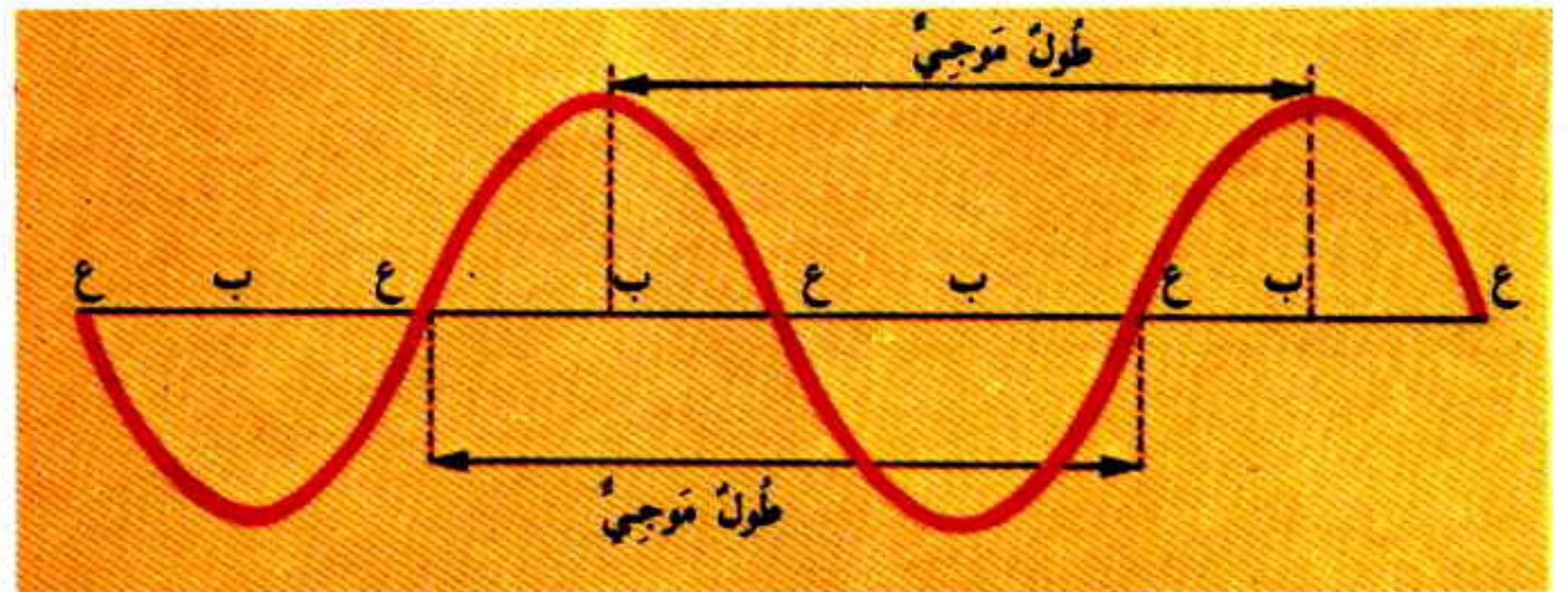
وتُسَمَّى الأنابيبُ المِزْمارِيَّةُ **أنابيبَ مَفتوحَةً** إذا كانَ طَرَفا الأنبوبِ فيها مَفتوحَيْنِ، وتُسَمَّى **أنابيبَ مَسدُودَةً** إذا كانَ أحَدُ طَرَفَي الأنبوبِ فيها مُغْلَقًا. ويُصْدِرُ الأنبوبُ المَفتوحُ طَبَقَةَ نَغَمٍ أعلى مَرَّتَيْنِ من طَبَقَةِ نَغَمِ أنبوبٍ مَسدودٍ منَ الطُّولِ نَفْسِهِ، وذلِكَ لاختِلافِ شَكْلِ الأمْواجِ فيهِما. فجُزَيئاتُ الهَواءِ تَهْتَزُّ إلى الحَدِّ الأقْصَى عِنْدَ طَرَفٍ مَفتوحٍ بَيْنَما لا تَهْتَزُّ مُطْلَقًا عِنْدَ طَرَفِ أُنبوبٍ مَسدُود.

وتَتَّخِذُ الأمواجُ داخِلَ الأنابيبِ أطوالًا مُخْتَلِفَةً بِحَيْثُ تُلازِمُ الطَّرَفَ المَسْدُودَ **عُقدَةٌ** مَوْجِيَّةٌ (حَيْثُ لا ذَبذَبة) ويُلازِمُ الطَّرَفَ المَفتوحَ دائمًا **بَطْنٌ** مَوْجِيٌّ (حَيْثُ الذَّبذَبَةُ القُصْوَى). وكُلَّما قَصُرَ الطُّولُ المَوجِيُّ ازدادَ التَّردُّدُ وارتَفَعَتْ دَرَجةُ النَّغَمِ. وهذا يُفَسِّرُ امتِزاجَ النَّغمَةِ النّاتِجَةِ، عِنْدَما تَنْفُخُ في أُنبوبٍ مِزماريٍّ، بِنَغَماتٍ أُخرى أخفَتَ شِدَّةً وأعلَى طَبَقَةً. وتُعْرَفُ هٰذِهِ النَّغَماتُ **بالنَّغَماتِ التَّوافُقِيَّةِ** أو الألائف. وهٰذِهِ الألائفُ هي الَّتي تُعطي الآلَةَ الموسيقِيَّةَ صَوتَها المُمَيَّز.

يُمكِنُ صُنْعُ مِزمارٍ بَسيطٍ من قَصَبَةِ غابٍ خَيْزُرانِيٍّ وقِطْعَةِ خَشَبٍ طَرِيٍّ. اِقْطَعْ ثُلْمَةً في القَصَبَةِ وانحَتْ من الخَشَبِ الطَّرِيِّ أُسطُوانَةً قَصيرةً جاعِلًا أحَدَ جانِبَيْها مُفَلْطَحًا. أدخِلِ الأسطُوانَةَ في القَصَبَةِ أمامَ الثُّلمَةِ لِتَجْعَلَ مِنْها قِطْعَةَ الفَمِ وثَبِّتْها جَيِّدًا. اِقْطَعْ أُسطُوانَةً

إلى اليسار

يَحوي الأنبوبُ المِزماريُّ شَفْرًا حادًّا يُنْفَخُ عَبْرَهُ الهواءُ، فيُسَبِّبُ ذلِكَ تحرُّكَ الهواءِ نحو جَوانِبِ الأنبوبِ مُوَلِّدًا مَوجاتٍ صَوتِيَّةً في عَمودِ الهواءِ داخلَ المِزمارِ وخارِجَهُ. وهٰذِهِ التَّموُّجاتُ تُنْتِجُ أنغامًا مُوسيقِيَّةً.

إلى أسْفَل

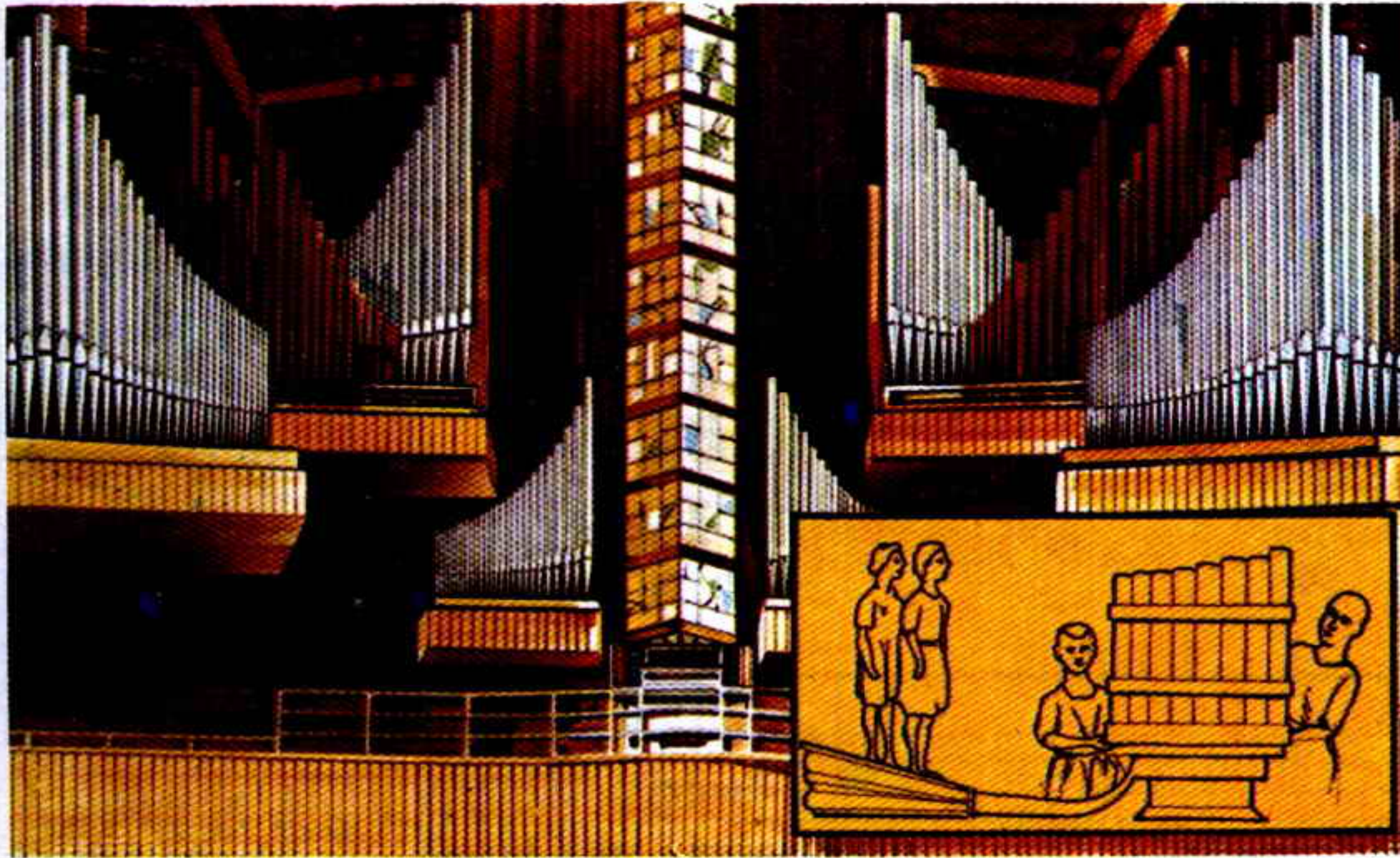
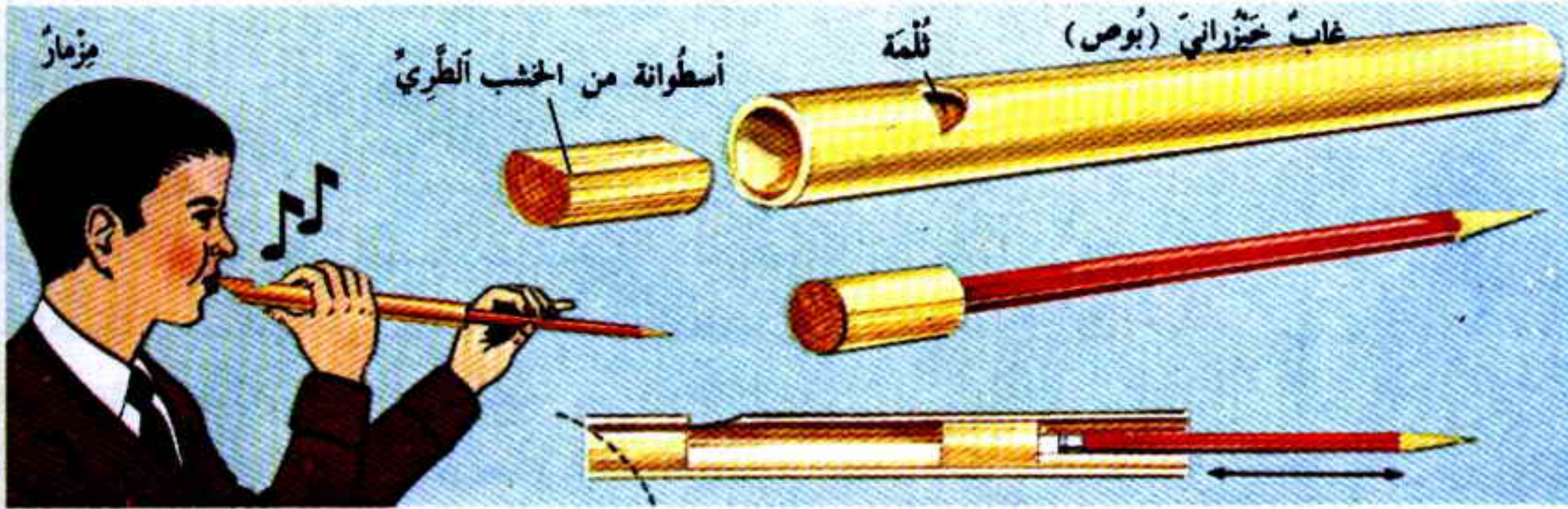
مُخَطَّطٌ لِمَوجَةٍ صَوتِيَّةٍ. تَنْعَدِمُ ذَبْذَبَةُ جُزَيئاتِ الهَواءِ حَيْثُ يَتقاطَعُ خَطُّ المَوْجَةِ مَعَ خَطِّ المِحْوَرِ في مَوقِعِ العُقَدِ المَوجِيَّةِ (ع). وتَبْلُغُ الجُزَيئاتُ ذَبْذَبَتَها القُصْوى (وطاقَتَها القُصوى) حَيْثُ السَّعَةُ القُصوى بينَ ذُروةِ الموجَةِ أو بَطنِها وخَطِّ المِحوَرِ في مَواقِعِ البُطونِ المَوجِيَّةِ (ب). والمَسافَةُ بينَ عُقْدَتَيْنِ أو بين بَطْنَيْنِ مُتعاقِبَيْنِ تُساوي الطُّولَ المَوجِيَّ.

إلى اليسار

الأمواجُ في الأنابيبِ المَفتوحَةِ والمَسدُودةِ. النَّغمَةُ الأساسِيَّةُ هي ذاتُ الطُّولِ الموجِيِّ الأكبَرِ وطَبَقَةِ الصَّوتِ الأدنى. وتَردُّدُ التَّوافُقِيّاتِ هو دائمًا مُضاعَفٌ عدديٌّ صَحيحٌ لِتَردُّدِ النَّغمَةِ الأساسِيَّةِ.

أُخرى من ٱلخَشَبِ ٱلطَّرِيِّ وصَغُرَ قُطرَها بحَيْثُ تَتحَرَّكُ بِسهُولَةٍ داخِلَ طَرَفِ ٱلقَصَبَةِ ٱلمَفتُوحِ ، وأَلصِقْ بِقَاعِدَةِ هٰذِه ٱلأُسطُوانَةِ قَلَمَ رَصاصٍ.

اُنفُخْ في قِطْعَةِ ٱلفَمِ قُرْبَ ٱلثُّلمَةِ فَتَسْمَعَ صَفيرًا ، لأنَّ ٱصطِدامَ ٱلهواء بِشَفْرٍ (حافَّةٍ) ٱلثُّلْمَةِ يُسَبِّبُ ٱهتِزازَ عَمُودِ ٱلهواء في ٱلقَصَبةِ. وحِينَ تُحَرِّكُ ٱلأُسطُوانَةَ ٱلمُغَرَّاةَ بِٱلقَلَمِ جيئَةً وذَهابًا داخِلَ ٱلقَصَبَةِ تَحصُلُ على أَنْغامٍ مُتَبايِنَةٍ.

وٱلأُرغُنُ هُو أَضخَمُ ٱلآلاتِ ٱلمُوسِيقِيَّة وأَوسَعُها مَدًى من حَيْثُ دَرَجاتُ ٱلصَّوتِ (أي مَدى ٱلتَّرَدُّدِ) وتَنَوُّعُ ٱلأَنْغام. يُدْفَعُ ٱلهَواءُ إلى أنابيبِ ٱلأُرغُنِ ٱلمُتَعدِّدةِ ٱلمُختَلِفَةِ ٱلطُّولِ وٱلحَجْمِ بواسِطَةِ مِنْفاخٍ يَدَويٍّ أو بِمَراوِحَ تُدارُ آلِيًّا. وتُصدِرُ ٱلأَنابيبُ ٱلطويلَةُ ٱلواسِعَةُ في ٱلأُرغُنِ أنغامًا خَفيضَةَ ٱلطَّبَقَةِ بَيْنَما تُصْدِرُ ٱلأَنابيبُ ٱلقصيرَةُ ٱلضيِّقَةُ أَنْغامًا عالِيَةَ ٱلطَّبَقَةِ.

فَوق

قد يبلُغُ طُولُ هذا ٱلنَّوعِ من ٱلنَّايِ ٱلمِزماريِّ بِضعَةَ أمتارٍ ، وقد بَدأ استِعمالُهُ في ٱلقرنِ ٱلسّادِسَ عَشَرَ ، وهو يُعْزَفُ بنَفْخِ ٱلهَواء عَبْرَ قِطْعَة ٱلفَم. وبفَتْحِ ٱلثُّقوبِ ٱلمُنتَشِرَةِ على طُولِه أو سَدِّها يُمكِنُ ٱلحُصولُ على نَغَماتٍ مُوسيقِيَّةٍ مُتَبايِنَةٍ. أمَّا ٱلفلُوتُ فتُعزَفُ بِنَفْخِ ٱلهواء من قِطْعَةِ ٱلفَمِ ٱلجانِبِيَّةِ ، وطَرَفُها الآخَرُ مَسدودٌ. وتُفتَحُ ٱلثُّقوبُ ٱلجانبيَّةُ أو تُغْلَقُ عادةً بِمَلامِسَ أو مَفاتيحَ تُشَغَّلُ بِٱلأَصابعِ. وتَتميَّزُ ٱلفلُوتُ بنَغَمٍ بالِغِ ٱلصَّفاء.

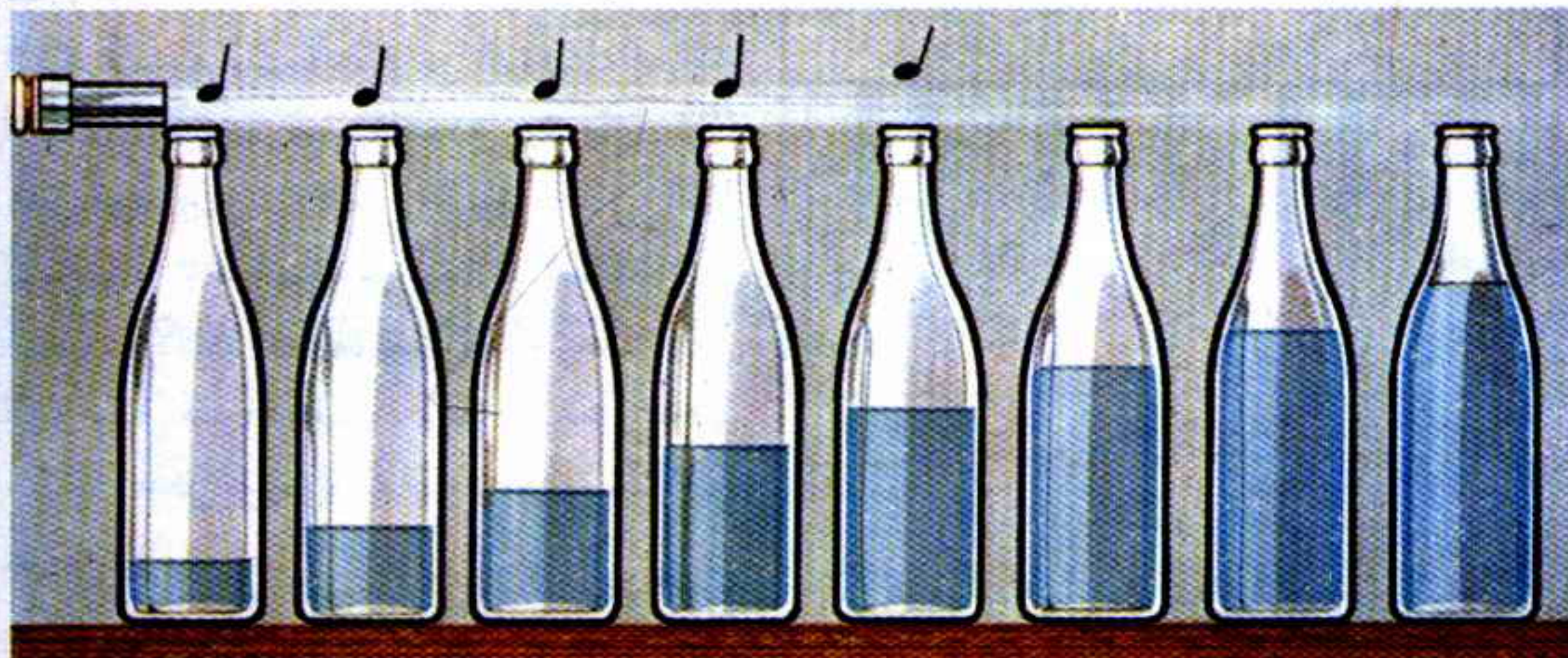
فوق إلى اليسار

يُصنَعُ هٰذا المِزمارُ مِنْ قَصَبَةِ غابٍ خيزُرانيٍّ. وبتَحريكِ ٱلأسطوانَةِ ٱلصُّغْرى جيئَةً وذَهابًا داخِلَ ٱلمِزمارِ تتغيَّرُ طَبَقَةُ ٱلصَّوتِ لأنَّ ذلكَ يُغَيِّرُ طُولَ عمُودِ ٱلهواء داخِلَ قَصَبَةِ ٱلمِزمار.

إلى اليسار

ٱلأُرغُن. في ٱلزّاوِيَةِ ٱلسُّفْلَى صُورَةُ أُرغُنٍ رُومانيٍّ قَديمٍ يَعُودُ إلى ٱلقرنِ ٱلميلاديِّ ٱلرّابعِ. وٱلأُرغُنُ ٱلعَصْرِيُّ ٱلآخَرُ هُو أُرغُنُ جامِعَةِ ڤالپارِيزُو بالولايات المتّحدة وقَد أُنشِئَ عام ١٩٥٩.

إلى اليسار

أُرغُنُ ٱلقَنانِي. عَبِّئْ ثَماني قَنانٍ من ٱلنَّوعِ نَفْسِه بِكَمِّياتٍ مُتَفاوِتَةٍ من ٱلماء ثُمَّ ٱنفُخْ عَبْرَ فُوهَاتِها على ٱلتَّعاقُب. إنَّ ٱلقِنِّينَةَ ذاتَ ٱلماء ٱلأكثرِ (وعمُودِ ٱلهَواء ٱلأَقصَرِ) تُعطِي ٱلنَّغمَةَ ٱلأعلَى طَبَقَةً. ولَو وَضَعْتَ ٱلكَمِّيّاتِ ٱلصَّحيحة من ٱلماء في كُلِّ قِنِّينَةٍ لأَمكَنَكَ عَزْفُ سُلَّمٍ مُوسيقيٍّ عَلَيْها. ويمكِنُكَ استِخْدامُ خُرطومِ (نَربيجِ) ٱلمِكنَسةِ ٱلكَهْرَبائِيَّةِ لِنَفخِ ٱلهَواء عَبْرَ فُوهَاتِ ٱلقَناني.

اَلأَصواتُ وَٱلسَّلالِمُ ٱلمُوسِيقِيَّةُ

يُعْتَبَرُ ٱلصَّوتُ مُوسِيقِيًّا متَى كانَ عَذْبًا حَسَنَ ٱلايقاعِ وٱلنَّغَمِ. وقَد يَكُونُ هٰذا ٱلصوتُ صادِرًا عَنْ جَوقَةٍ (أوركِسْترا) أَو آلَةٍ مُوسِيقِيَّةٍ أو عَنْ مُغَنٍّ أَو مَجْمُوعَةِ مُنْشِدين.

وكانَ ٱليُونانِيُّونَ ٱلقُدامَى أَوَّلَ مَن نَظَّمَ ٱلمُوسيقَى على أَساسٍ عِلمِيٍّ فرَتَّبُوا ٱلأنغامَ في سِلْسِلَةٍ مِنَ ٱلدَّرجاتِ صُعُودًا أَو نُزولًا لِتُؤَلِّفَ **سُلَّمًا مُوسيقِيًّا**.

ويُمكِنُ تَصنيفُ ٱلآلاتِ ٱلمُوسيقِيَّةِ في أَربعِ فِئاتٍ هي ٱلآلاتُ ٱلوَتَرِيَّةُ وآلاتُ ٱلنَّقرِ وآلاتُ ٱلنَّفخِ وٱلآلاتُ ٱلإلكترونِيَّةُ. وتَخْتَلِفُ أَصواتُ هذِهِ ٱلآلاتِ بٱختِلافِ تَصاميمِها وأشكالِها وٱلموادِّ ٱلَّتي تُصْنَعُ مِنْها. فَنَخانَةُ ٱلخَشَبِ وَنَوعِيَّتُهُ في كَمانٍ تجعَلانِهِ يُصدِرُ أَنْغامًا مُغايِرَةً لأنغامِ كَمانٍ نَظيرٍ أَرَقَّ خَشَبًا أو أدنَى نَوعِيَّةً. وهُناكَ عامِلانِ مُهِمّانِ آخَرانِ يُؤثِّرانِ في ٱلنَّغَمِ ٱلصّادِرِ عَن آلَةٍ مُوسِيقِيَّةٍ هُما حَجْمُها وبَراعَةُ ٱلعازِفِ عَلَيْها.

وفي ٱلمُوسيقى ٱلجَيِّدَةِ ٱلمَضبُوطَةِ ٱلايقاعِ لا تُسْمَعُ إلّا ٱلذَّبذَباتُ ٱلمطلُوبَةُ، فبٱستِطاعَةِ ٱلموسيقيِّ مَثَلًا تعَرُّفُ ٱلنَّغمَةِ ٱلمُوسيقِيَّةِ ا (لاه) مِن أي آلَةٍ عُزِفَتْ، إذا كانَت مَضْبوطَةَ ٱلطَّبَقَةِ (ٱلدرجةِ) وٱلشِّدَّةِ.

وٱلمَعروفُ أَنَّ لِكُلِّ نَغَمةٍ مُوسِيقِيَّةٍ طبَقَةً مُحَدَّدَةً تَتساوَى في جَميعِ ٱلآلاتِ ٱلمُوسيقِيَّةِ وتُسَمَّى ٱلتَّرَدُّدَ ٱلأَساسيَّ لِلنَّغمةِ. فٱلتردُّدُ ٱلأساسيُّ لِلنَّغمَةِ ا في ٱلبيانُو هو نَفْسُه لِتِلْكَ ٱلنَّغَمَةِ مَعْزُوفَةً على ٱلجِيتارِ أَو على ٱلفَلُوتِ ومِقدارُه ٤٤٠ ذَبذَبَةً في ٱلثّانِيَةِ (لِلْوَتَرِ أو لِعَمُودِ ٱلهواءِ).

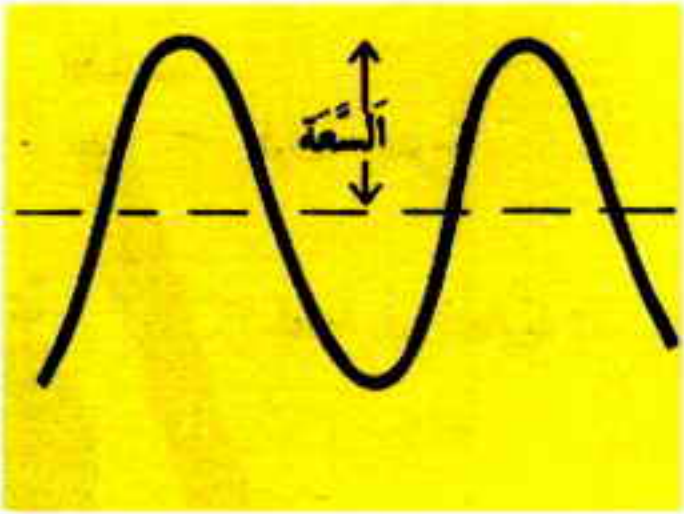
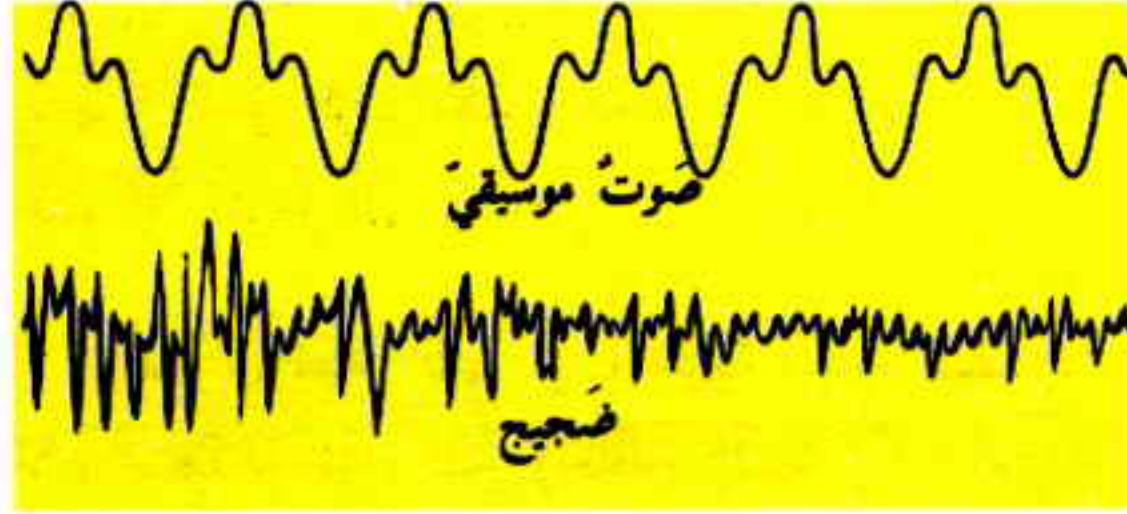
وٱلآلَةُ ٱلمُوسِيقِيَّةُ بِطَبيعَتِها (ومَهْما كانَ نَوعُها) لا تُصدِرُ نَغْمةً كامِلَةَ ٱلنَّقاءِ أُحادِيَّةَ ٱلتَّرَدُّدِ، بَلْ تُصْدِرُ **ٱلنَّغمَةَ ٱلأساسيَّةَ** مُمتزِجَةً بعَدَدٍ من **ٱلتوافُقِيّاتِ** ٱلمُرافِقَةِ ٱلأَخفَتِ شِدَّةً (أُنظر صفحة ١٤٦). وقَد يكُونُ تردُّدُ هذِهِ ٱلتوافُقِيّاتِ (ٱلألائفِ) ضِعْفَي تَرَدُّدِ ٱلنَّغمَةِ ٱلأَساسِيَّةِ أو ثَلاثَةَ أضعافِهِ أو أربَعَةِ أو خمسَةَ أو سِتَّةَ أضعافِه. وٱلآلاتُ ٱلمُختَلِفَةُ تُصدِرُ كَمِّيّاتٍ مُخْتَلِفَةً من بَعْضٍ أو كُلِّ هٰذِهِ ٱلتوافُقِيّاتِ، وهٰذا ما يَجْعَلُ أَصواتَها مُخْتَلِفَةً. فَلِكُلِّ آلَةٍ إذًا **نوعِيَّةُ** صَوتٍ مَعروفَةٌ ومُحَدَّدَةٌ.

تتأَلَّفُ ٱلسَّلالِمُ ٱلمُوسيقِيَّةُ مِن مَجموعاتِ أَنْغامٍ ٱثْنَتَي عَشْرِيَّةٍ تُسَمَّى **أَنصافَ نَغَماتٍ**. وهٰذه ٱلنَّغَماتُ

صَوتٌ مُوسيقِيٌّ

ضَجيج

ٱلسَّعَة

فوق

تتميَّزُ ٱلأصواتُ ٱلموسيقِيَّةُ بنَسَقٍ مَوجِيٍّ مُنتظَمِ ٱلتَّباعُدِ، ثابتِ ٱلسَّعةِ. وٱلسَّعَةُ هي مِقياسُ طاقة ٱلذَّبذَبَةِ وتُمَثَّلُ بٱلبُعْدِ بين ذُرْوَةِ ٱلموجَةِ أو بَطنِها ومِحوَرِ ٱلتَّمَوُّجِ (أو خطِّ ٱتّجاهِهِ). أَمّا ٱلأصواتُ ٱللاموسيقِيَّةُ فيَنْعَدِمُ فيها ٱلنَّسَقُ ٱلمَوجِيُّ.

تُرُومبُون

كَمان

ساكْسفُون

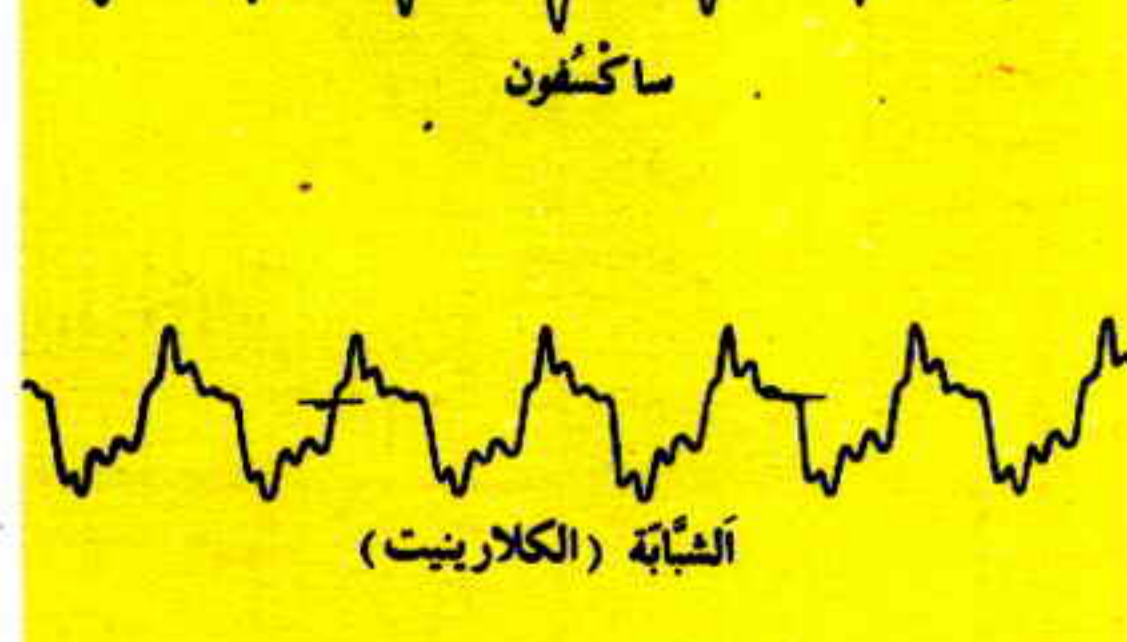
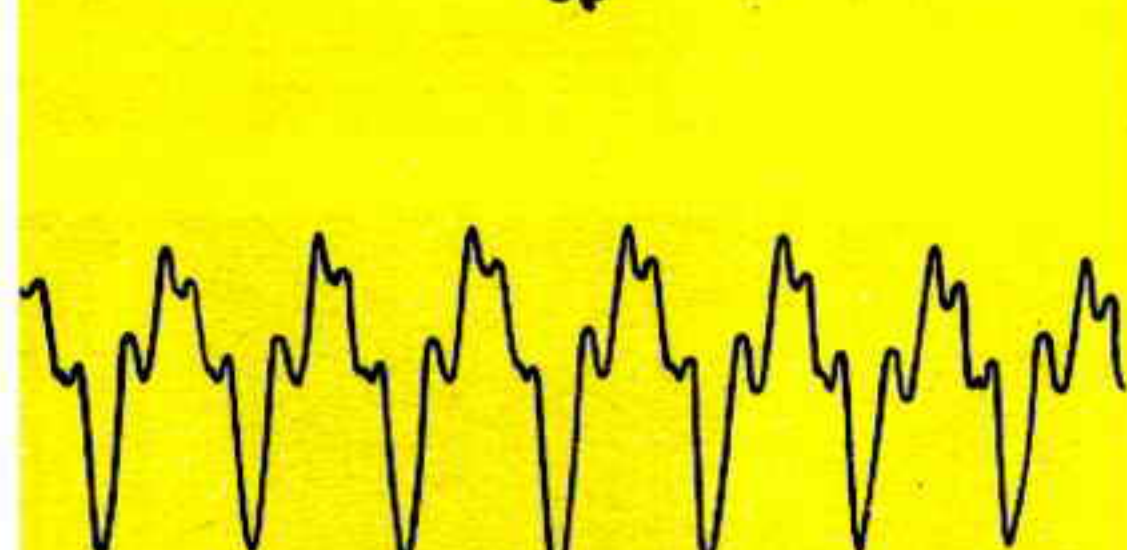
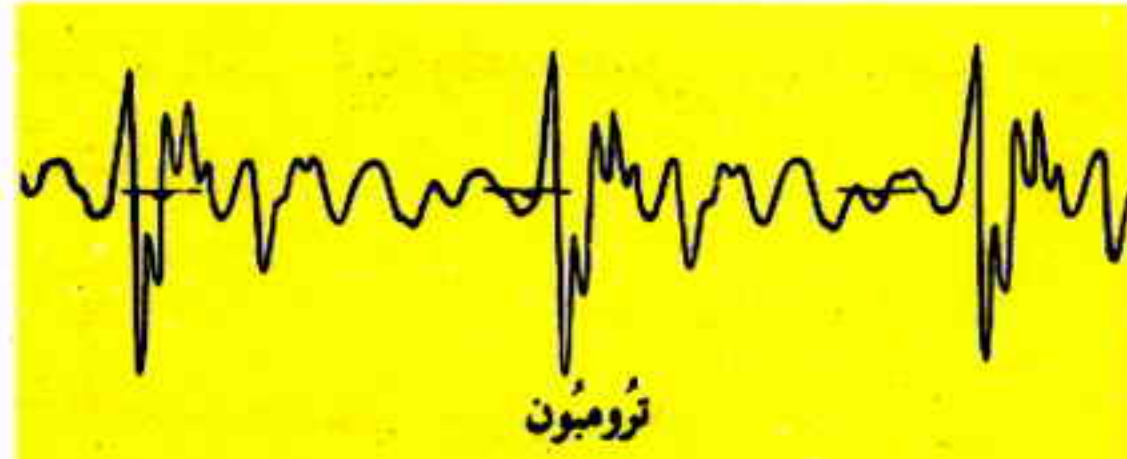
ٱلشَّبّابَة (الكلارينيت)

إلى اليمين

ٱلنَّمَطُ ٱلمَوجِيُّ لِنَغَماتٍ من آلاتٍ مُوسيقِيَّةٍ مُخْتَلِفَةٍ. يُمثِّلُ ٱلنَّمَطُ ٱلمَوجِيُّ بِجَمْعِ ٱلسَّعَةِ لِلنَّغمةِ ٱلأساسيَّةِ إلى سعَةِ ٱلتوافُقِيّاتِ ٱلمُختلفةِ ٱلمُرافِقَةِ لَها. فكُلَّما خَفَتَتِ ٱلتوافُقِيّاتُ قَلَّتْ سَعَتُها. ولِكُلِّ آلَةٍ مُوسيقِيَّةٍ نَمَطٌ مَوجِيٌّ مختلِفٌ لاختلاف ٱلتوافقيّاتِ ٱلصّادِرَةِ عن تلكَ ٱلآلَةِ.

جَ ب ا ز و هـ د جـ

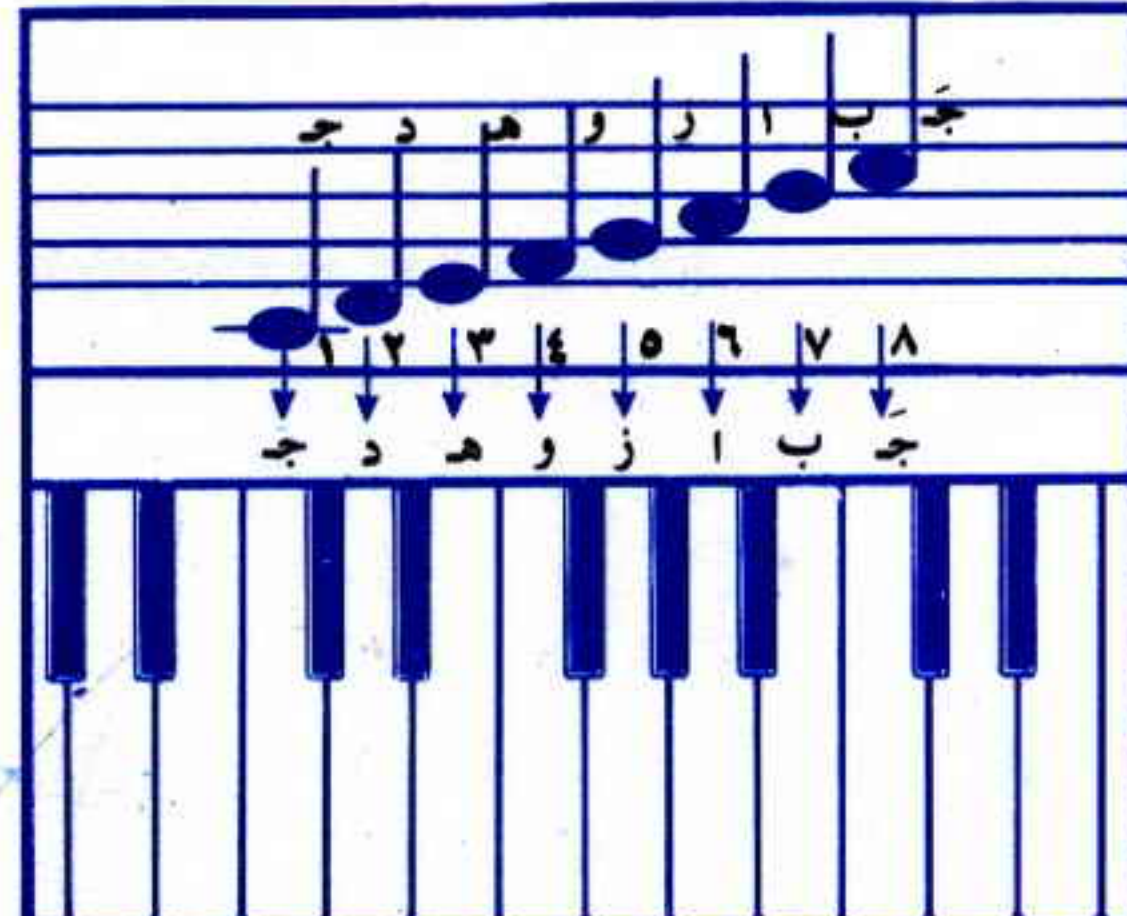
١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ٧ ٨

جَ ب ا ز و هـ د جـ

إلى اليمين

سُلَّمٌ مُوسيقِيٌّ من ثُمانِيَّةٍ نَغَمِيَّةٍ. ويُمثِّلُ هذا سُلَّمَ جـ ٱلمُتَوسِّطَ ٱلخالي منَ ٱلتَّرَدُّداتِ ٱلحادَّةِ وٱلخَفيضَةِ (ٱلنَّغَماتِ ٱلسُّودِ). فٱلنَّغمةُ ٱلأخيرَةُ في ٱلسُّلَّمِ (جَ) هيَ أَعْلَى بجَوابٍ (أو بثُمانِيَّةٍ) من ٱلنَّغمةِ ٱلأولَى. أمّا أنصافُ ٱلنَّغَماتِ ٱلأثْنَتا عَشْرَةَ ٱلتي تُؤلِّفُ جَوابًا فتَشْمَلُ ٱلنَّغَماتِ ٱلبِيضَ ٱلسَّبْعَ وٱلنَّغَماتِ ٱلسُّودَ ٱلخَمْسَ بين جـ و ب.

	دو	تي	لا	سو	فا	مي	ري	دو
الرَّقم	٨	٧	٦	٥	٤	٣	٢	١
الاسم	جَ	ب	ا	ز	و	هـ	د	جـ
ٱلتَّردُّد	٥٢٣	٤٩٤	٤٤٠	٣٩٢	٣٤٩	٣٣٠	٢٩٤	٢٦٢

إلى اليمين

ٱلسُّلَّمُ ٱلمُتساوي ٱلتَّعديلِ هُو ٱلسُّلَّمُ ٱلأكثَرُ قَبُولًا في ٱلموسيقى ٱلغَربِيَّةِ. فإذا غَنَّيْتَ نَغَماتِهِ بدءًا من ٱلرَّقم ١ أو جـ وٱستَمرَرْتَ حتّى ٱلنَّغمَةِ ٨ أو جَ (ٱلعُليا) فإنَّ ٱلصَّوتَ هُوَ ٱللَّحْنُ ٱلمَشهُور «دُو- رِي- مِي- فا- سُو- لا- تِي- دُو».

مُرتَّبَةٌ في سُلَّمٍ يَرْتَفِعُ من ٱلطَّبَقَةِ ٱلأَدْنى إلى ٱلأعلى، وكُلُّ مَجموعةٍ من ٱلنَّغَماتِ تُسَمَّى **جوابًا** (أو ثُمانِيَّةً). ويزيدُ تَرَدُّدُ كُلِّ نَغَمةٍ في ٱلجوابِ بِنِسبَةِ ١،٠٥٩٥ على سابِقَتِها. فإذا ضَرَبْتَ ٱلعَدَدَ ١،٠٥٩٥ في نَفْسِهِ ٱثْنَتَيْ عَشْرَةَ مَرَّةً تَحْصُلُ على ٱلجوابِ ٢. وهذا يَعني أنَّ تَرَدُّدَ نَغَمةٍ أَعلى جَوابًا (أو ثُمانِيَّة) من نَغَمةٍ أُخرى هُو ضِعْفُ تَرَدُّدِ ٱلنَّغَمَةِ ٱلأُخرى. فَتَرَدُّدُ ٱلنَّغَمَةِ جـ ٱلعُلْيا هُوَ ٥٢٣،٢ ذَبْذَبةً في ٱلثَّانيةِ أي ضِعْفُ تَرَدُّدِ ٱلنَّغَمَةِ جـ ٱلوُسْطَى (وهو ٢٦١،٦).

وقد تأثَّرتِ ٱلموسيقَى ٱلعربيَّةُ مُنذُ ظُهورِها بٱلموسيقى ٱليونانيَّةِ وٱلفارِسيَّة ويَغْلِبُ عَليها ٱلطَّابَعُ ٱللَّحنيُّ في ٱلإيقاع. فٱلعربُ وأهلُ ٱلشَّرقِ عامَّةً يَهْتَمُّونَ في ٱلموسيقى بٱلألحانِ ٱلغنائيَّةِ وطرائقِها في الإيقاعِ دُونَ ٱهتِمامٍ بِصناعةِ ٱلنَّغَمِ. ولِذلكَ لا تزالُ ٱلآلاتُ ٱلَّتي تُصاحِبُ ٱلأَلحانَ ٱلشَّرقِيَّةَ هيَ ٱلآلاتِ ٱلوتريَّةَ ٱلخفيفة، ولَمْ تُستَحدَثْ آلاتٌ تختَصُّ بٱلنَّغَمِ إلَّا مُنذُ عَهدٍ قَريبٍ.

إلى ٱليمين

يُمكِنُكَ صُنْعُ آلاتٍ لِجَوقةٍ مُوسيقيَّةٍ من مَوادَّ تَتوافَرُ في ٱلمَنْزِلِ. يَعمَلُ ٱلبيانُو ٱلمِسماريُّ وٱلزيلُوفُونُ حَسَبَ ٱلمَبْدأ نَفْسِهِ، فٱلمِسمارُ أو ٱلقِطعَةُ ٱلخَشَبيَّةُ ٱلأَقَلُّ طُولًا تُصدِرُ صَوتًا أعلى طَبَقَةً من ٱلمِسمارِ أو ٱلقِطعَةِ ٱلخَشَبيَّةِ ٱلأطولِ. وفي ٱلقانُونِ ٱلوتَريِّ ٱلمصنوعِ مِن أربطَةٍ مَطّاطيَّةٍ مُتماثِلَةٍ يُصْدِرُ ٱلرِّباطُ ٱلأطولُ نَغَمًا أعلى طَبَقَةً لِفَرْطِ ٱلشَّدِّ علَيْهِ. أمّا الترومبُون ٱلمائيُّ فيتطَلَّبُ بَعْضَ ٱلخِبْرَةِ. فَلِلْحُصولِ على نَغَمٍ يَنْبَغي ٱلنَّفخُ عَبْرَ فُوهَةِ الأنبوبِ بَيْنَما طَرَفُه الآخَرُ مَغْمُورٌ في ٱلماء. فَبتَغطِيسِ الأُنبوبِ أكثَرَ يَقْصُرُ عَمُودُ ٱلهَواءِ في الأنبوبِ وتَرتَفِعُ طَبَقَةُ ٱلنَّغَمِ. وبِرَفْعِ الأُنبوبِ أكثَرَ يَطُولُ عَمُودُ الهواءِ ٱلمُتَذَبْذِبِ وتَنْخَفِضُ طَبَقَةُ ٱلنَّغَمِ.

بيان (بيانو) مِسماريٌّ

زِيْثَر (قانُونٌ وَتَريٌّ)

ترومبُون مائيٌّ

زَيْلُوفُون (خَشَبيَّة)

اَلضَّجيجُ

الصَّوتُ اَلَّذي لا يَسْتَسيغُهُ اَلْمَرْءُ يُسَمِّيهِ ضَجيجًا، مع اَلعِلْمِ أَنَّ ما يُصَنِّفُهُ أَحَدُهُم كَضَجيجٍ قَد يَسْتَسيغُه آخَرُ ويَسْتَلْطِفُه. وفي المَفْهومِ اَلعِلْمِيِّ يُعَرَّفُ اَلضَّجيجُ بأنَّهُ اَلصَّوتُ اَلنّاتِجُ عَن نَمَطٍ غَيْرِ مُنْتَظِمٍ منَ اَلتَموُّجِ.

هُنالِكَ اَلكَثيرُ من مَصادِرِ اَلضَّجيجِ في العالَمِ حَوْلَنا، وبَعْضُها قَدْ يَبْلُغُ دَرجَةَ اَلخَطَرِ. وهٰذِه تَشْمَلُ حَفّاراتِ اَلطُّرقِ وهَديرَ اَلطّائراتِ اَلنَّفاثَةِ في إقلاعِها وجَلَبَةَ اَلسَّيْرِ اَلَّتي لا تَهْدَأُ. وقَدْ سُنَّتْ قَوانينُ تَمْنَعُ إحداثَ اَلضَّجيجِ فَوْقَ مُسْتَوًى مُعَيَّنٍ، لِأَنَّهُ يُقْلِقُ اَلرَّاحَةَ العامَّةَ وقَدْ يُتْلِفُ حاسَّةَ اَلسَّمعِ.

ولعَلَّكَ لاحَظْتَ أَنَّ طبقَةَ زَميرِ اَلسَّيَّارَةِ (أو صَفيرِ عَرَبَةِ اَلإطفاءِ) تَبدُو أعلى حِدَّةً والمَركَبَةُ قادِمَةٌ نَحْوَكَ مِمَّا هي علَيْهِ والعَرَبَةُ مُدْبِرَةٌ عَنْكَ. وأشَدُّ ما يُلاحَظُ ذلِكَ حينَ تُدرِكُكَ اَلمَركَبَةُ إذ إنَّ طبَقَةَ اَلنَّفيرِ في تِلْكَ اَللَّحظَةِ تَهْبِطُ فجأةً إلى مُستوًى أَخفَضَ.

إنَّ أمواجَ اَلصَّوتِ من اَلبُوقِ أو اَلصّفّارَةِ تَنْبَعِثُ من العربَةِ اَلقادِمَةِ نَحْوَكَ في نَفْسِ الاتِّجاهِ اَلَّذي تَسيرُ فيهِ اَلمَركَبَةُ. فَسُرعَةُ اَنتِقالِها بالنِّسبَةِ لكَ هي سُرعَةُ اَلصَّوتِ مُضافًا إلَيها سُرعَةُ اَلمَركبة، وهكَذا فإنَّ عدَدَ اَلذَّبذباتِ اَلصَّوتِيَّةِ اَلَّتي تَصِلُ أُذُنَكَ من اَلمَركَبَةِ وهيَ قادِمَةٌ نَحوكَ أَكثَرُ من عَدَدِها لَو كانَتِ اَلمَركَبَةُ مُتَوَقِّفَةً، ولِهٰذا اَلسَّبَبِ تَسْمَعُ طَبَقَةَ نَغَمٍ أَعْلَى.

وعِنْدَما تَتَجاوَزُكَ اَلمَركَبَةُ تَصِلُكَ أَمواجُ اَلصَّوتِ من نفيرِها بِسُرعَةٍ تُساوِي سُرعَةَ اَلصَّوتِ اَلعادِيَّةَ مَطروحًا مِنْها سُرعَةُ اَلمَرْكَبَةِ. وهكذا يَصِلُكَ عَدَدُ ذَبْذَباتٍ أَقَلُّ مِمّا لَو كانَتِ اَلمركَبَةُ مُتوقِّفَةً فتَسْمَعُ طَبَقَةَ نَغَمٍ أَخفَضَ. وأشَدُّ ما يُلاحَظُ ذٰلِكَ في اَللَّحْظَةِ اَلَّتي تَتَجاوَزُكَ اَلمَركَبَةُ فِيها.

اَلصَّوتُ	الشِّدَّةُ بِالدِّيسيبل	اَلشِّدَّةُ أو اَلجَهارَةُ
هَديرُ اَلصّاروخِ ساتُرْن عِنْدَ إقلاعِهِ	٢٠٠	خَطَرٌ على اَلسَّمْعِ
مُحرِّكُ اَلطّائرةِ	١٠٠ - ٢٠٠	ضَجيجٌ يُضايِقُ
مِثْقابٌ بالضَّغْطِ اَلهَوائيِّ	١٠٠	شِدَّةٌ عالِيَةٌ جِدًّا
حركَةُ مُواصلاتٍ كَثيفَةٌ	٩٠	شِدَّةٌ عالِيَةٌ نوعًا
فُونُوغرافٌ ذُو مِجْهارٍ	٧٠	شِدَّةٌ عالِيَةٌ
مُحادَثَةٌ عادِيَّةٌ	٤٠ - ٦٠	شِدَّةٌ مُتَوَسِّطَةٌ
بَيْتٌ هادِئٌ	٣٠	شِدَّةٌ خافِتَةٌ
هَمْسٌ	٢٠	شِدَّةٌ خافِتَةٌ جِدًّا
حَفيفُ أوراقِ الشَّجرِ	١٠	شِدَّةٌ خافِتَةٌ جِدًّا

فوقُ

مِقياسُ اَلضَّجيجِ. تُقاسُ شِدَّةُ اَلضَّجيجِ بِقياسِ طاقَةِ اَلمَوْجَةِ اَلصَّوتِيَّةِ، ويُعَبَّرُ عَنها بالدِّيسيبل. فالصَّوتُ اَلَّذي يَكادُ لِخُفوتِهِ لا تَسْمَعُهُ اَلأُذُنُ شِدَّتُهُ صِفْرُ اَلدِّيسيبل. وقَوانينُ اَلبيئةِ اَلحَديثَةُ تَمْنَعُ اَلشّاحِناتِ مِن إصْدارِ أصواتٍ تَزيدُ شِدَّةُ جَهارَتِها على ٩٠ دِيسيبل. واَلثّابِتُ أَنَّ اَلأصواتَ اَلَّتي تَزيدُ شِدَّتُها عن ١٤٠ دِيسيبل خَطِرَةٌ علَى اَلأُذُنِ غَيْرِ اَلمَحْمِيَّةِ.

إلى اَليسارِ

الأَمواجُ الصَّوتِيَّةُ لِنَغمَةٍ مُوسيقِيَّةٍ ولِصَوْتٍ ضَجيجِيّ. يُبيِّنُ اَلشَّكلُ ا اَلنَّسَقَ المَوْجِيَّ لِنَغمَةِ بيانُو حَيثُ اَلأمواجُ مُنْتَظِمَةُ اَلنَّمطِ واَلصَّوتُ عَذْبٌ. أَمّا اَلشَّكلُ ب فيُبَيِّنُ اَلنَّسَقَ اَلمَوجِيَّ عِنْدَ ضَغْطِ دَوّاسَةِ اَلبيانُو إلى أسفَلُ حَيْثُ يَنْعَدِمُ اَنتِظامُ اَلتَمَوُّجِ ويُصبِحُ اَلصَّوتُ ضَجيجًا.

إلى اَليسار

ظاهِرة دُوبْلَر. إنَّ عدَدَ اَلذَّبذباتِ اَلصَّوتِيَّةِ اَلَّتي تَصِلُكَ من صَفّارَةِ عَرَبَةِ اَلإطفاءِ وهي مُنْطَلِقَةٌ نَحوكَ أكثَرُ مِنْ عَدَدِها والعَرَبَةُ تَنطَلِقُ بَعيدًا عَنْكَ. وهذا ما يَجْعَلُ اَلصَّفيرَ اَلقادِمَ ذا طَبَقَةٍ أعلى مِنْ طَبَقةِ الصَّفيرِ اَلمُدْبِرِ. ويَتَجلّى اَلفَرقُ بينَ اَلطَّبقتينِ بوُضوحٍ في اَللَّحظَةِ اَلَّتي تتجاوزكَ فيها اَلعَرَبَةُ إذ تَنْخَفِضُ طَبَقَةُ اَلصَّفيرِ فجأةً عِندئذٍ.

طَبَقةُ (درجةُ) صَوتٍ عالية

طبقَةُ صَوتٍ خَفيضَةٌ

طيرانٌ بسُرعةٍ فوقَ الصَّوتيَّة

طيرانٌ بسُرعةٍ دونَ الصَّوتيَّة

موجةٌ صدميَّةٌ خلفيَّةٌ

دويُّ اختراقِ جدارِ الصَّوت

وهٰذا ٱلتغيُّرُ ٱلظّاهِرُ في طَبَقَةِ (دَرَجة) ٱلصَّوت ٱلمُتَحَرِّكِ يُعرَفُ **بظاهِرة دُوپْلَر** نِسبَةً إلى ٱلفيزيائيِّ ٱلنِّمساويِّ كريستيان جُوهان دُوپْلَر ٱلّذي عَلَّلَ أسباب هذِه ٱلظاهِرَةِ عام ١٨٤٢.

وتَنْطَبِقُ ظاهِرَةَ دُوپْلَر كَذلِكَ على أمواجِ ٱلضَّوءِ ٱلمُنْبَعِثَةِ من مَصدَرٍ مُتَحَرِّكٍ. فَتَرَدُّدُ ٱلأمواجِ ٱلضَّوئيَّة مَثَلًا ٱلَّذي يَتَلقّاه ٱلرّاصِدُ من نَجْمٍ يتَّجِهُ نَحْوَهُ (أو بَعيدًا عَنهُ) أكثَرُ (أو أقَلُّ) منَ ٱلتَّرَدُّدِ ٱلمَوجيِّ ٱلعادِيِّ لِلضَّوءِ. وهٰذِه ٱلظّاهِرَةُ عَظيمَةُ ٱلجدوَى لِلْفلكيِّينَ في حِسابِ سُرعاتِ سَيْرِ ٱلنُّجوم.

ومِنْ أنواعِ ٱلضَّجيجِ ٱلحديثَةِ دَويُّ ٱختِراقِ جدارِ ٱلصَّوتِ ٱلَّذي تُحْدِثُهُ ٱلطّائِراتُ ٱلنَّفّاثَةُ. فَٱلطّائِرَةُ في أثناءِ طيرانِها تَدْفَعُ ٱلهواءَ أمامَها في أمْواجٍ مُتَتالِيَةٍ، تَمامًا كما تُشاهِدُ دَفْعَ مُقَدِّمَةِ ٱلسَّفينَةِ لِلْماءِ في تَمَوُّجاتٍ أمامَها وحَوالَيْها. وبِتَزايُدِ سُرعَةِ ٱلطّائرةِ يَتَزايَدُ تَضاعُفُ ٱلأمواجِ ٱلمُندَفِعَةِ حَتَّى تُؤَلِّفَ جدارًا (أو حاجِزًا) من ٱلهواءِ ٱلمَضغوطِ أمامَ الطّائرَةِ.

وعِنْدَما تَبْلُغُ سُرعَةُ ٱلطّائرةِ ١٢٠٠ كيلومِتْرٍ في ٱلسّاعَةِ وهيَ سُرعَةُ ٱلصَّوتِ تَضْطَرِبُ مَوْجَةُ ٱلهَواءِ ٱلمَضغوطِ ٱلقويَّةُ (ٱلجداريَّةُ) أمامَ مُقَدِّمَةِ ٱلطائرةِ وتَتَحَوَّلُ إلى مَوجةٍ صَوتيَّةٍ عارِمَةٍ فيُسْمَعُ لها دَويٌّ هائلٌ كٱلرَّعْدِ تَحْتَ ٱلطّائِرَةِ مُباشَرَةً، وهذا هُو ما يُعرَفُ بِدَويِّ ٱختِراقِ جِدار (أو حاجِزِ) ٱلصَّوتِ.

فوق

دَويُّ ٱختِراقِ جدارِ ٱلصَّوتِ. في أثناء طَيَرانِها بِسُرعةٍ دُونَ ٱلصَّوتيَّةِ تَضْغَطُ ٱلطّائرةُ ٱلهواءَ أمامَها في تَمَوُّجاتٍ مُتلاحِقة. وحينَ تَصِلُ ٱلسُّرعَةُ الى ١٢٠٠ كيلومِتْرٍ في ٱلسّاعَةِ (وهي سُرعَةُ ٱلصَّوتِ) تتحوَّلُ ٱلأمواجُ ٱلمُنْضَغِطَةُ بِمُقَدِّمَةِ ٱلطّائرةِ إلى أمواجٍ صَوتيَّةٍ، وهذا يُحدِثُ ٱلدَّويَّ ٱلمَعروفَ بِدَويِّ ٱختِراقِ جِدارِ ٱلصَّوت.

إلى ٱليمين

طائرة تَسيرُ بِسُرعَةٍ فَوقَ صَوتيَّة. هنالِكَ حاليًّا كَثيرٌ من ٱلطّائراتِ ٱلَّتي تَستَطيعُ ٱلطَّيرانَ بِسُرعةٍ تَفوقُ سُرْعَةَ ٱلصَّوت، ومُعظَمُها طائراتٌ عَسْكَرِيَّةٌ. وتَصِلُ سُرْعَةُ بَعضِ هٰذِه ٱلطّائراتِ إلى ٣٥٢٠ كيلومِتْرًا في ٱلسّاعة (حوالَى ٣ أضعافِ سُرعةِ ٱلصَّوت). والمَعروفُ أنّ طائرَتَي ٱلرُّكّابِ كُونكُورد (ٱلّتي بُنِيَت بٱلتَّعاون بين بريطانيا وفرنسا) وتوبوليف (ٱلتي صُنِعَتْ في رُوسِيّا) تَستَطيعان ٱلطيران بسُرعةٍ تفوقُ ضِعْفَي سُرعةِ ٱلصَّوت.

مواقعُ الآلاتِ الموسيقيّةِ في جوقةٍ سمفونيّة

اختراعُ الآلاتِ البصريّة

الآلة	النوع	التاريخ	المخترع	البلد
المجهر (الميكروسكوب)	البصريّ	١٥٩٠	جانسن	هولندا
	الإلكتروني	١٩٣٩	زُورُوكِن	الولايات المتحدة
المرقب (التلسكوب)	الكاسر (أول نموذج عملي)	١٦٠٨ ١٦١٠	ليبرشي غاليليو	هولندا إيطاليا
	العاكس (أول نموذج عملي)	١٦٦١ ١٦٦٨	غريغوري نيوتن	سكوتلندا إنكلترا
	الراديوي	١٩٥٢	مهندسو جودرل بانك	إنكلترا
الكاميرا	-	١٨٢٦	نيبس - أوّلُ من أخذ صورةً فوتوغرافيّة	فرنسا

الإلكترونات في مجالات العمل

المحتويات | الصّفحة

اَلأَدَواتُ اَلكَهْرَبائِيَّةُ

تُوجَدُ اَلطَّاقَةُ في أَشْكالٍ مُتَعَدِّدَةٍ . والطاقَةُ الكَهْرَبائِيّة أَيْسَرُ هذِهِ الأَشْكالِ اسْتِخْدامًا لِسُهولة نَقْلِها مِنْ مَكانٍ إلى آخَرَ . ولِذا نَجِدُ أَنَّ كَثيرًا مِنَ الأَدواتِ المَنْزِلِيَّةِ الّتي نَسْتَخْدِمُها تَعْتَمِدُ على الطَّاقَةِ الكَهْرَبائية . وهذه الآلاتُ تُحَوِّلُ غالِبًا الطاقَةَ الكهربائيّةَ إلى شَكْلٍ آخَرَ مِنْ أَشْكالِ الطَّاقَة . فالمِصْباحُ الكَهربائيُّ يُحَوِّلُها إلى **ضَوء**، والسَّخّانةُ الكَهْرَبائِيَّةُ تُحَوِّلُها إلى **حَرارةٍ** (وقليلٍ من الضوء اذا تَوَهَّجَتْ بالأَحمرار) . وفي الجَرَسِ الكَهرَبائي تَتَحَوَّلُ هذهِ الطاقةُ إلى **صَوتٍ** . وتَحَوُّلُ الطاقَةِ هذا في الحالاتِ الثلاثِ يَتِمُّ بِاسْتِخْدامِ الأَسْلاك .

ويُمكِنُ إمرارُ الكهرباءِ خلالَ الغازِ إذا كانَ ضَغْطُ الغازِ خَفيفًا جِدًّا . وهذا يَجعلُ الغازَ يَتَوَهَّجُ بِضَوءٍ ساطِعٍ كَما يَحْدُثُ في مَصابيحِ النِّيونِ المُلَوَّنَةِ أو في لافِتاتِ الدِّعايَةِ الكهربائِيَّةِ ، أو في إنارةِ الشوارعِ بِمَصابيحِ الصُّوديوم .

وعِنْدَما يَمُرُّ التَّيّارُ الكَهربائيُّ في بَعْضِ السَّوائلِ تتكَوَّنُ موادُّ جَديدَةٌ أحيانًا في المَحلولِ أو تَنْطَلِقُ مِنْه . ويُسْتَخْدَمُ هذا **التأثيرُ الكِيماويُّ** لِلتيّارِ الكَهْرَبائيِّ في تَحضيرِ بَعضِ المَوادِّ كالألومِنْيوم والنُّحاسِ من خاماتِها . وتُسَمَّى هذه العَمليّةُ **التحليلَ الكَهرَبائيَّ** .

والتِّلِفونُ أيضًا ، الّذي هُوَ مِن أَهَمِّ الأدواتِ الكَهربائِيَّةِ المُستَخْدَمَةِ في البَيْتِ والمكتبِ ، يَعْتَمِدُ على الكَهرَباء . في العام ١٨٧٦ بَعَثَ البروفسور أَلِكْسَنْدَر بِل إلى مُساعِدِهِ بِأَوَّلِ رِسالَةٍ تِلِفونِيَّةٍ قالَ فيها : «يا سيِّد واطْسُون ، أَرجوكَ الحُضورَ . إنّي أُريدُكَ ! » . ومَعَ أَنَّ جِهازَ بِل التِّلفونيّ قد طَرَأَتْ عليهِ تَحسيناتٌ كثيرةٌ فإنَّ مَبْدَأَ عَمَلِ التِّلفون الحديثِ ظَلَّ دُونَما تَغْييرٍ يُذْكَر . يَعْتَمِدُ

أَقْصَى اليَمين

بَعضُ الأدواتِ الكَهربائِيّة . كَثيرٌ من الأَدواتِ المَنْزِلِيَّةِ تَسْتَخْدِمُ الطَّاقَةَ الكَهربائيَّة ، وكُلُّها تُحَوِّلُ تلكَ الطاقةَ إلى شَكْلٍ آخَرَ من أشكالِ الطاقةِ كالحرارةِ (في الغَلّايةِ) أو الضَّوء (في المِصباح الكَهربائي) أو الحركَةِ (في آلةِ الحلاقة) .

إلى اليَمين

الجَرَسُ الكهربائي . في الوَضْعِ العاديِّ تكُونُ الدائِرةُ الكهربائيةُ مُغْلَقةً وذِراعُ المِطْرَقَةِ في وَضعِهِ الخَلْفيِّ . وعِنْدَ ضَغْطِ الزِّرِّ يَسري التيّارُ في المِلَفَّيْنِ فيَنْجَذِبُ ذِراعُ المِطْرَقة وتَضْرِبُ المِطرقَةُ الجَرَسَ . وفي هذا الوَضْعِ الأماميِّ لِذراعِ المِطْرَقةِ تَنْفَتِحُ الدائرةُ الكهربائيةُ ويَنْقَطِعُ التيارُ وتزولُ مِغْنَطيسيَّةُ المِلَفَّيْنِ فيَعُودُ ذِراعُ المِطرقَةِ إلى وَضعِهِ الخَلْفِيِّ بفِعْلِ الزُّنْبُرَكِ السُّفلي ، وهذا يُغْلِقُ الدائرةَ فيَسْري التيّارُ وتَعُودُ الكَرَّةُ ثانيةً . وتتكَرَّرُ هذه الدَّقّاتُ بِسُرعةٍ فائقةٍ فَنَسْمَعُها رَنينًا مُستَمِرًّا .

أَقصى اليمين

البروفسور أَلِكْسَنْدَر غراهام بِل (١٨٤٧ – ١٩٢٢) وُلِدَ في اسكُتْلَندا وهاجَرَ إلى أُميركا . إخْتَرَعَ التلفون عام ١٨٧٠ .

إلى اليمين

مُرسِلٌ (ومُستَقْبِلٌ) تِلفوني بَسيط . يُحَوِّلُ المِغْنَطيسُ الكَهربائيُّ في الميكروفُون أَمواجَ الصَّوت إلى تيّاراتٍ كَهربائيّةٍ تَسري في سِلْكِ التِّلِفون . وفي المُسْتَقْبِلِ يُعادُ تَحويلُ هذِهِ التيّاراتِ إلى أَمواجٍ صَوْتِيّة .

تَحويلُ الأصواتِ في التِّلفونِ البسيطِ إلى تيّاراتٍ كَهْرَبائيّةٍ على مِغْنَطيسٍ كهربائيٍّ. وهذا المِغْنَطيسُ يتألّفُ من مِلَفٍّ أسْلاكٍ بِداخِلِه قَلْبٌ منَ الحَديدِ المُطاوعِ. يُرَكَّبُ هذا المِغْنَطيسُ الكَهربائيُّ خَلْفَ قُرصٍ مَعْدِنيٍّ رَقيقٍ جدًّا (يُسَمَّى الرِّقَّ) بِحَيْثُ يَكادُ يَمَسُّه. وحينَ يَهْتَزُّ هذا الرِّقُّ في المُرسِلِ، بِفِعْلِ الأمْواجِ الصوتيَّةِ، يُوَلِّدُ تَغَيُّراتٍ في مِغْنَطيسيّةِ المِلَفِّ وفي شِدَّةِ التيّارِ الّذي يَسْري في الأسلاكِ الّتي تَصِلُ الميكروفونَ بالمُستَقْبِلِ. وتَغَيُّراتُ التيّارِ هذه تَتِمُّ بِسُرعةٍ تَتناسَبُ مع تغيُّراتِ الصَّوتِ كَما تَتَناسَبُ شِدَّتُها مَعَ شِدَّتِه. وفي المُستَقْبِلِ التِّلفونيِّ هُنالِكَ أيضًا مِغْنَطيسٌ كَهربائيٌّ ورِقٌّ مَعْدِنيٌّ. وبِفِعْلِ التغيُّراتِ في شِدَّةِ التيّارِ وتغيُّرِ مِغْنَطيسيّةِ المِلَفِّ يَهْتَزُّ الرِّقُّ مُعيدًا ذَبْذَباتِ الرِّقِّ في المُرْسِلِ ومُنْتِجًا الأصواتَ نَفْسَها المُنْبَعِثَةَ في الميكروفونِ.

والمِجْهارُ (مُكَبِّرُ الصَّوتِ) هُوَ نَبيطَةٌ شَبيهَةٌ بِمُسْتَقْبِلِ سَمّاعَةِ التِّلفونِ البَسيطِ، لكِنَّه يَستَخدِمُ بُوقًا مَخْروطيًّا منَ الوَرَقِ المُقَوَّى بَدلاً من الرِّقِّ المَعْدِنيِّ. وحينَ يَهْتَزُّ البُوقُ المَخْروطيُّ في المِجْهارِ بِفِعْلِ المِغْنَطيسِ الكَهْرَبائيِّ يَهُزُّ معهُ كَمِّيَّةً أكبَرَ من الهَواءِ. وهذا يَعني أنَّ طاقَةً كَهْرَبائيّةً أكبَرَ قَدْ أمْكَنَ تَحويلُها إلى صَوتٍ. ولا حاجَةَ إذَنْ إلى تَقْريبِ المِجْهارِ من أُذُنِ السّامعِ.

فوق

يَهتزُّ المَخروطُ الوَرقيُّ البُوقيُّ في المِجهار بِفِعْلِ المِغْنَطيسِ الكَهْرباني، وبِنَسَقٍ يَتَناسَبُ مع تَغيُّرِ التيّارِ فيه. وذَبْذَبَةُ المَخروطِ البُوقيِّ تُوَلِّدُ أمْواجًا صَوتيّةً عاليَةً.

لَوْحَةٌ كَهْرَبائيَّةٌ لاخْتِبارِ المَعْلوماتِ

إلى اليمين

تُصنَعُ لَوحَةُ امتِحانِ المَعلُومات بِبُصَيْلَةِ مِصْباحٍ صَغيرةٍ تُضيءُ عِنْدَما يُشارُ إلى الجَوابِ الصحيحِ.

وَصِّلْ بُصَيْلَةَ المِصْباحِ والبَطاريَّةَ بِسِلْكَيْنِ وتأكَّدْ أنَّ البُصَيْلَةَ تُضيءُ عِنْدَ تَلامُسِ السِّلْكَيْنِ، ثُمَّ اتْرُكْ طَرَفَي الوَصْلِ يَتَدَلَّيانِ وفي نِهايَةِ كُلٍّ مِنْهُما مِشْبَكٌ مَعْدِنيٌّ.

ثَبِّتْ مَشابِكَ خُطّافيَّةً لِتَنْفُذَ في لَوحِ الأبْلَكاج وأَلْصِقْ بِطاقاتِ الأسئلةِ والأجْوِبةِ فَوْقَها بتَرتيبٍ عَشْوائيٍّ في عَمُودَيْنِ.

صِلْ مِشْبَكَ كُلِّ سُؤالٍ بِمِشْبَكِ جَوابِهِ بِسِلْكٍ يَمُرُّ خَلْفَ اللَّوحِ.

والآنَ اطْلُبْ من أصدِقائكَ أنْ يَمْتَحِنُوا مَعلُوماتِهِمْ. فالّذي يَمَسُّ مِشبَكَ السُّؤالِ بِسِلْكٍ ثم يَمَسُّ مِشبَكَ الجَوابِ الصَّحيحِ بالسِّلْكِ الآخَرِ يُغْلِقُ الدائرةَ الكَهربائيةَ فَتُضيءُ البُصَيْلَةُ!

اَلتيّارُ ٱلكَهربائيُّ

إذا وَصَلْتَ بُصَيْلَةَ مِصْباحِ جَيْبٍ كَهربائي بِبَطّاريَّةٍ عَبْرَ مفتاحٍ كَهربائيٍّ تَحصُلُ على دائرةٍ كَهربائيَّةٍ بَسيطةٍ. وعِنْدَ إغْلاقِ ٱلدائرةِ يَسْري تَيّارٌ كَهْرَبائيٌّ في ٱلأسلاكِ من ٱلبَطّاريّةِ إلى ٱلبُصيلةِ. فما هُوَ ٱلشيءُ ٱلذي يَسري فِعلاً في ٱلسِّلْكِ لَدى إغلاقِ ٱلمِفتاحِ ٱلكَهربائيِّ؟ ومِمَّ يتألَّفُ ٱلتَّيّارُ ٱلكهربائيّ؟ وٱلجوابُ هُوَ أنَّ ٱلتيّارَ ٱلذي يَسْري في ٱلدائرةِ هُوَ سَيْلٌ من **ٱلإلِكْترونات**، وهذا ٱلتدفُّقُ ٱلإلِكْترونيّ يَقْطَعُهُ ٱلمِفْتاحُ عِنْدَ فَتْحِ ٱلدائرة.

ٱلإلِكْترونُ أَوِ ٱلكُهَيْرِبُ هُو جُسَيْمٌ بالِغُ ٱلدِّقّة حَقًّا، فَبَقاءُ بُصَيْلَةِ مِصْباحِ ٱلجيبِ مُضيئةً لِمُدَّةِ ثانيَةٍ واحِدة يَقْتَضي سَرَيانَ حَوالَى مِلْيُونِ مليونِ مليونِ إلِكْترون.

إلى ٱليَمين

دائرةٌ كَهْرَبائيةٌ بَسيطةٌ تتألَّفُ مِن بُصَيْلَةِ مِصباحِ جَيْبٍ كَهرَبائي وبَطّاريَّةٍ وثلاثِ وَصْلاتٍ سِلْكيَّةٍ ومِفتاح. عِنْدَ ضَغْطِ سِلْكِ ٱلمِفتاحِ (لِوَصْلِ طَرَفَيْهِ) تُغلَقُ ٱلدائِرَةُ ٱلكهربائيَّةُ فتَسري ٱلإلِكترونات وتُضيءُ ٱلبُصَيْلَةُ.

فَوقُ

أندريه ماري أَمْبير (١٧٧٥ – ١٨٣٦) عالِمٌ ورياضيٌّ فَرَنسيٌّ أَجْرى عِدَّةَ تَجاربَ على ٱلظواهِرِ ٱلكَهْرُومِغْنيطِيَّةِ بَعْدَ أنْ سَمِعَ باكتشافِ أورستِد لِتأثيرِ ٱلتَّيّارِ ٱلكهربائيِّ في سِلْكٍ على إبرةٍ مِغْنَطيسيَّةٍ حَوْلَه. وبَيَّنَ أَمپيرُ هذا ٱلتأثيرَ بَيْنَ سِلْكَيْنِ يَحْمِلانِ تَيّارَيْنِ بِفِعْلِ ٱلمَجالَيْنِ ٱلمِغْنَطيسيَّيْنِ حَوْلَهُما. وقَدْ سُمِّيَتْ وَحْدَةُ شِدَّةِ ٱلتيارِ أَمپيرًا بٱسْمِه.

إلى ٱليَسار

مِفتاحٌ كَهْرَبائيٌّ بَسيطٌ مَصْنُوعٌ من دَبُّوسَيْ رَسْمٍ ومِشْبَكِ وَرَقٍ مَثْنِيّ.

إلى أسفل

تتألَّفُ نَواةُ ٱلذرَّةِ، فيما عَدا ذَرَّةِ ٱلهيدروجين، من نَوْعَيْنِ من ٱلجُسَيْماتِ ٱلدَّقيقةِ هي ٱلبروتوناتُ ٱلمُوجَبَةُ ٱلشِّحْنَةِ وٱلنيوترونات ٱلمُتَعادِلَة. وحولَ ٱلنَّواةِ يَدُورُ عَدَدٌ من ٱلإلِكترونات ٱلسّالِبَةِ ٱلشِّحنة مُساوٍ لِعَدَدِ ٱلبروتونات. أمّا ذَرَّةُ ٱلهيدروجين فَتَحْوي نَواتُها بُروتونًا واحِدًا دُونَ نيُوترونات، وحَولَها إلِكْترونٌ واحِد. فهي إذَنْ مُتَعادِلَةُ ٱلشِّحنَةِ كغَيْرِها من ذَرّاتِ ٱلعَناصِرِ ٱلأُخرى.

نَواةُ ذَرَّةِ هَيدروجين

نَواة ذَرَّةٍ من الكربون

(٦ بروتونات و ٦ نيوترونات)

نيُوترون

بُروتون

ٱلهيدروجين ١ — ٱللّيثْيوم ٣ — ٱلبريلْيوم ٤ — ٱلبُورون ٥ — ٱلكَرْبون ٦ — ٱلنّتروجين ٧ — ٱلأكسجين

ٱلصُّوديوم ١١ — ٱلمَغْنِسيوم ١٢ — ٱلألومِنْيوم ١٣ — ٱلسِّليكون ١٤ — ٱلفُسفور ١٥ — ٱلكِبْريت

والإلكترونات هي من الجسيمات المكونة للذرة (انظر صفحة ٨٤). إكتشف اللورد روثرفورد أن ذرات العناصر المختلفة تحوي أعدادًا مختلفة من الإلكترونات، كما كشف أن الذرة تتكون من **نواة** مركزية تدور حولها الإلكترونات على مسافات متفاوتة في مجموعات تسمى **غلافات**. وأبسط الذرات تركيبًا ذرة الهيدروجين إذ تتألف من إلكترون واحد يدور حول النواة. ويبين الشكل ١٨ عنصرًا مختلفًا في كل منها عدد مختلف من الإلكترونات يدور حول النواة.

وتؤلف المجموعة الإلكترونية الثمانية غلافًا مستقرًا في الذرات، لذا يلاحظ أن الذرات المتضامة لتكون جزيئات تميل الى الاتحاد بعضها مع بعض بحيث تنتهي غلافاتها الخارجية بمجموعات ثمانية الإلكترونات. لكن بعض الذرات التي لها إلكترون واحد أو اثنان أو ثلاثة إلكترونات في غلافاتها الخارجية تتضام لتكون جزيئاتها بشكل مغاير. فهذه الإلكترونات الخارجية تنفصل عن النواة وتتخذ لنفسها مسارًا عشوائيًا حول الذرات. والذرات التي تتضام بهذه الطريقة هي **المعادن الفلزية**، وهي توصل التيار الكهربائي لأن هذه الإلكترونات المنفصلة حرة الحركة.

ووظيفة البطارية في الدائرة البسيطة التي سبق وصفها هي دفع الإلكترونات الحرة في السلك المعدني للتحرك في الاتجاه نفسه. فعندما يسري تيار عبر السلك يتألف هذا التيار من تلك الإلكترونات الخارجية المنفصلة المنطلقة جميعًا في اتجاه واحد. وعند قطع (أو فتح) الدائرة وفصل البطارية عنها، ينعدم الدفع عن الإلكترونات فتعود إلى حركتها العشوائية.

عند وصل (أو غلق) دائرة البصيلة الكهربائية، بضغط المفتاح إلى أسفل، تسري الإلكترونات عبر السلك مارة **بالفتيلة** الرفيعة جدًا فتسخنها، وذلك لتزايد الاصطدامات بين الإلكترونات والذرات. وبتزايد درجة حرارة السلك تبدأ الذرات بابتعاث الضوء (انظر صفحة ١٠٥) أحمر أولاً ثم أبيض عندما تشتد درجة الحرارة.

والإلكترونات لا تسري في الأسلاك فقط، فهي تسري أيضًا عبر أعصاب الجسم. فعندما تبصر شيئًا، مثلاً، تنتقل نبضة كهربائية من عينك إلى الدماغ. وهذه النبضات تنتج من سريان الإلكترونات عبر العصب البصري من شبكية العين إلى المركز البصري في الدماغ. والعضلات أيضًا يجري التحكم فيها بسريان النبضات الكهربائية من الدماغ إليها عبر الأعصاب.

طومسون

فوق

السير جوزيف ج. طومسون (١٨٥٦ – ١٩٤٠) عالم من جامعة كمبردج اكتشف الإلكترون عام ١٨٩٧، فأصبح بالإمكان فهم طبيعة التيار الكهربائي.

روذرفورد

فوق

اللورد روذرفورد (١٨٧١ – ١٩٣٧) عالم نيوزيلندي تتلمذ على السير جوزيف طومسون وعمل معه في كمبردج. اكتشف تركيب الذرة.

إلى أسفل

العناصر الثمانية عشر الأولى في الجدول الدوري للعناصر، ويبين الرسم الغلاف الإلكتروني لكل عنصر. تتوسط ذرة العنصر نواة موجبة الشحنة، وشحنة النواة مساوية لعدد الإلكترونات التي تدور حولها. وتتقرر الخصائص الكيماوية للعنصر بعدد الإلكترونات التي تشغل الغلافات الخارجية لذراته. وإذا كان بالإمكان فصل هذه الإلكترونات، كما هي الحال في المعادن الفلزية، فإن بمقدور المادة حينئذ توصيل التيار الكهربائي.

تتحرك الإلكترونات عشوائيًا – ولا تيار

تتحرك الالكترونات في الاتجاه نفسه – فيسري التيار

إلى اليمين

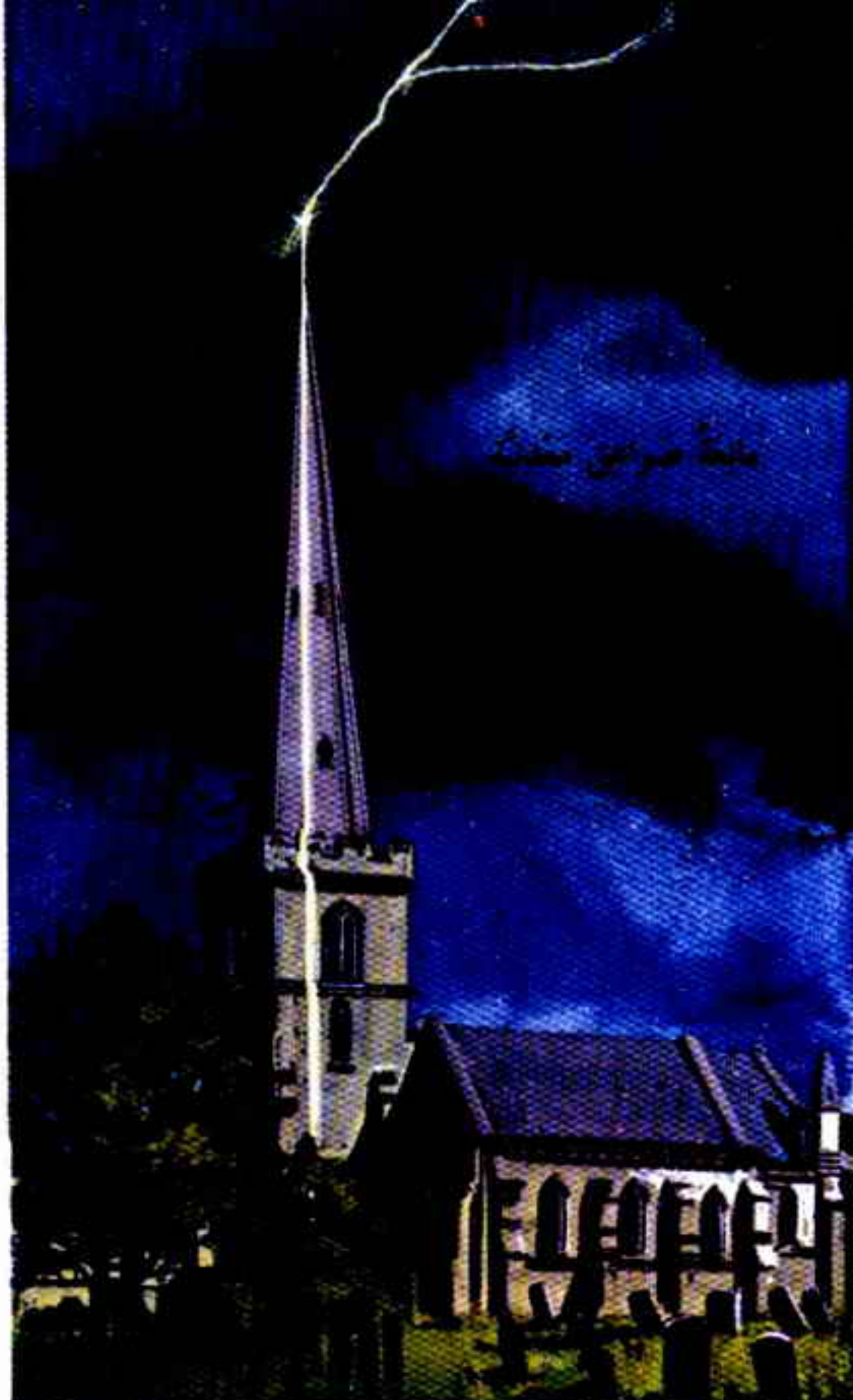
تتحرك إلكترونات الغلاف الخارجي عشوائيًا حول الذرات في السلك المعدني. لكنها تتحرك في الاتجاه نفسه عندما يسري التيار.

المُوَصِّلاتُ والعازِلاتُ

في المَعادِنِ الفِلِزِّيَّةِ كالنُّحاس تَتضامُّ الذرَّاتُ بَعْضُها معَ بَعْضٍ لِتُشكِّلَ بلُّوراتٍ تَكُونُ فيها الإلكْترونات الذرَّاتِ الخارِجيَّةُ حُرَّةَ الحَرَكَةِ. وحِينَ تَتحرَّكُ هذِه الإلكترونات في اتِّجاه واحِدٍ يَسْري تَيَّارٌ كَهْرَبائيٌّ (أُنظُر صَفحة ١٥٧). أمَّا في المَوادِّ اللَّافِلِزِّيَّةِ كالكِبريتِ فالإلكترونات مُقَيَّدةٌ بِنَوى الذَّرَّاتِ ولا مَجَالَ لِسَريانِ تَيَّارٍ، وتُسَمَّى هذِه الموادُّ **عازِلاتٍ**. مُعْظَمُ المُرَكَّباتِ عازِلٌ وبَعْضُها كالمَطَّاط جَيِّدُ العَزْلِ جدًّا، لِذا نَجِدُ أنَّ الأسْلاكَ الكَهربائيَّةَ تُلَبَّسُ بالمَطَّاطِ أو اللَّدائنِ (البلاستيك) لِجَعْلِها مَأمُونَةَ المُتَناوَلِ. ونَحْنُ في الواقِعِ نَسْتَخْدِمُ المُوَصِّلاتِ لِنَقلِ التَّيَّار الكَهْرَبائي إلى حَيْثُ نَحْتاجُهُ وَنَسْتَخْدِمُ العازِلاتِ لِمَنْعِ تَسَرُّبِه إلى حَيْثُ لا نُريدُه.

ولَعَلَّ مِن أهَمِّ اسْتِعْمالاتِ المَوادِّ العازِلَةِ اسْتِخْدامَها لِحِمايَةِ أجْسادِنا مِنَ التَّيَّارِ الكَهربائي، لأنَّ جِسْمَ الإنسانِ قادِرٌ على تَوصيلِ الكَهْرَباءِ، خاصَّةً إذا كانَ مُبْتَلًّا. فإذا ما لَمَسْتَ خَطأً سِلْكًا يَحْمِلُ تَيَّارًا كَهربائيًّا شَعَرْتَ بِصَدْمَةٍ كَهربائيَّةٍ عَنيفةٍ، وإنْ كانت يَداكَ مُبْتَلَّتَيْنِ فَقَدْ تَكْفي تِلْكَ الصَّدمَةُ لِقَتْلِكَ! حَذارِ أن تَلْمِسَ أداةً كَهْرَبائيَّةً ويَداكَ مَبْلُولَتان – لأنَّ أيَّ خَلَلٍ في العَزْلِ قَد يُعَرِّضُكَ لِلْخَطَرِ. حَذارِ أن تَلْمِسَ مِفْتاحًا أو مأْخَذًا كَهربائيًّا ويَداكَ مَبْلُولَتان، وإيَّاكَ أنْ تحمِلَ إلى الحَمَّامِ أيَّ أداةٍ كَهربائيَّةٍ.

إنَّ ثَخانةَ العَزْلِ اللَّازِمةَ لحِمايَةِ سِلْكٍ لا تَعْتَمِدُ على شِدَّةِ التيَّارِ السَّاري فيه بَلْ على الجُهْدِ الكَهْربائيِّ (الفُلْطيَّةِ) الَّذي يَدْفَعُ الإلكترونات عَبْرَه. فَحَيْثُ الجُهدُ عالٍ، كَما في الأسلاكِ المُوَصِّلَةِ إلى شَمْعاتِ الإشْعالِ في مُحَرِّكٍ بنزينيٍّ مَثَلاً، يكُونُ العَزْلُ ثَخينًا، إذْ يَبلغُ الجُهْدُ الكَهرَبائي فِيها آلافَ الفُلْطات. أمَّا العَزْلُ حَوْلَ أسلاكِ التوصيلِ إلى بَطَّاريَّةِ مِصْباحِ الجيبِ الكَهربائيِّ فَرَقيقٌ جدًّا لأنَّ الجُهْدَ فيها لا يَتجاوَزُ فُلْطًا ونِصْفَ الفُلْط.

وهُنالِكَ مِن حَيْثُ نَوعِيَّةُ التَّوصيلِ فِئَةٌ ثالِثةٌ مِنَ الموادِّ هي **شِبْهُ المُوَصِّلاتِ**. ففي ذَرَّاتِ هذه المَوادِّ تَستطيعُ بَعْضُ الإلكترونات في ظُروفٍ مُحَدَّدَةٍ التَّمَلُّصَ مِن غِلافاتِها حَوْلَ النَّوى فَتُوَصِّلُ التَّيارَ. ومِنَ الأمْثِلَةِ على شِبْهِ المُوَصِّلاتِ هذه نَذْكُرُ السِّليكون والجِرْمانيُوم والسِّلينيُوم. والتَّسخينُ هو إحدى الوَسائلِ لِجَعْلِ هذِه المَوادِّ تُوَصِّلُ التَّيارَ، لكِنَّ الطريقَةَ الأكْثَرَ فَعاليَّةً هي إضافةُ بعضِ الشَّوائب إلَيْها.

إلى اليمين

تُهَيِّئُ مانِعةُ الصواعِق، بِقَضيبِها المعدِنيِّ، ممرًّا مأمُونًا لِتوصيلِ التفريغِ البَرْقِيِّ الكَهربائيِّ إلى الأرضِ، بَدَلاً من انتِقالِ الشُّحناتِ الكَهربائيَّةِ عَبْرَ جُدْرانِ المَبْنى وتَعرُّضِهِ لأخْطارِ الحَريق.

إلى اليمين

يُسْتَحْسَنُ اسْتِخْدامُ المفاتيحِ الكَهربائيَّةِ المُثَبَّتَةِ في السُّقُوفِ في غُرَفِ الحَمَّامِ والمَطابِخ. وتُشَغَّلُ هذِه المفاتيحُ بخَيْطٍ يَتَدلَّى مِنها، وهٰكذا يَنْعَدِمُ خَطَرُ الصَّدَماتِ الكهربائيَّةِ حتَّى لو شُغِّلَ المِفتاحُ بِيَدٍ مَبْلُولَة. وتُمَدُّ الأسلاكُ حامِلَةُ التيَّارِ لِهذا الغَرَضِ داخِلَ السَّقْفِ.

شَمْعات إشعال

بَطّاريّة

عَزْلٌ كثيف

عَزْلٌ خفيف

مِلَفّ

مُوَزِّع

مِفتاحُ الإشعال

إلكترون ● ذرّةُ جرمانيوم ● ذرّةُ زرنيخ ●

فوق

تُغَذّى قُطْبِيَّةُ البَطّاريةِ إلى المِلَفِّ في مُحَرِّكِ السيّارة. وأسلاكُ التغذيةِ هذه مُغَطّاةٌ بطَبَقةِ عَزْلٍ رَقيقةٍ من المُطّاط أو البلاستيك. وفي المِلَفِّ تُحَوَّلُ هذه القُطْبِيَّةُ إلى قُطْبِيَّةٍ أعلى تكفي لإحداثِ الشَّرَر، ولذا يُغَطّى السِّلْكُ المُوَصِّلُ من المِلَفِّ إلى المُوَزِّعِ وكذلك المُوَصِّلاتُ من المُوَزِّعِ إلى شَمْعاتِ الإشعال، تُغَطّى كُلُّها بطَبَقةِ عَزْلٍ ثخينةٍ من المطّاطِ أو البلاستيك.

فوق (إلى اليسار)

في بِلّورةِ الجرمانيوم المُضافِ إليه نِسْبَةٌ قليلةٌ من الزّرنيخِ هنالِكَ إلكترونٌ فائضٌ لِكُلِّ ذَرّةٍ من الزّرنيخِ المُضافِ. وباستِطاعةِ هذا الإلكترونِ التَّمَلُّصُ من النّواةِ والتحرُّكُ عَبْرَ البِلّورةِ جاعِلاً توصيلَ التيّارِ مُمكِنًا بذلك. وهذا النّمطُ من شِبْهِ المُوَصِّلاتِ يُستَخدَمُ في الترانزِسْتور.

فإذا أُضيفَ إلى الجِرْمانيُوم بَعْضُ الزَّرنيخِ أدّى ذلكَ إلى ظُهُورِ الإلكتروناتِ الحُرَّةِ في بلّوْرَتِهما. وذلكَ عائدٌ إلى أنَّ الغِلافَ الخارجيَّ لِذرَّةِ الجِرْمانيُوم يَحوي أربَعَةَ إلِكْتروناتٍ بيْنَما يَحوي الغِلافُ الخارجيُّ للزَّرنيخ خمسَةً. وعِنْدما تتَضامُّ الذرّاتُ تَميلُ إلى تكوينِ مَجْمُوعاتٍ إلكترونيّةٍ ثُمانيَّةٍ تاركةً الإلكترونَ التاسِعَ طَليقًا. وهذا الإلكترونُ الحُرُّ يُمكِنُ استِخْدامُه كإلكترونِ توْصيلٍ. وعِنْدَ تَسليطِ جُهْدٍ كهربائيٍّ يتحرَّكُ هذا الإلكترونُ بَعيدًا عَنْ ذرَّتِه ويَسْري كَما تَفْعَلُ إلكتروناتُ الفِلزّات. ويُسَمّى هذا النوعُ من التوصيلِ توصيلاً سالِبَ النَّمَط. لكِنْ يَنتُجُ نوعٌ آخَرُ من التّوصيلِ إذا أُضيفَ إلى الجرمانيُوم شَيءٌ من عُنْصُرِ الإنْديُوم. فَلِعُنْصُرِ الإنديُوم ثلاثةُ إلكتروناتٍ خارجيّةٍ فَقَطْ، وعِنْدَ انضِمامِ ذرَّةٍ مِنْهُ إلى ذرَّةِ جرمانيُوم تَنْقُصُ المَجموعَةُ الالِكترونِيَّةُ الثُّمانِيَّةُ إلِكترونًا، وهذه **الفَجوةُ الإلكترونِيَّةُ**، كما اصْطُلِح على تَسْمِيَتِها، تَستَطيعُ القِيامَ بِتَوصيلِ التيّار. ويُسَمّى هذا النوعُ من التوصيلِ توصيلاً مُوجَبَ النَّمَط. وتستَخْدَمُ أنواعٌ مُختلِفَةٌ من الموادِّ شِبْهِ المُوَصِّلَةِ في صُنْعِ الترانزِسْتورات (انظُر صفحة ٢٣٩).

إلى أسفَل

مَقابِضُ الأدَواتِ الكهربائيةِ والعُدَدِ المُستَخدَمَةِ لإصلاحِها مَعزُولَةٌ بالمطّاط أو اللدائن (البلاستيك). ومعَ ذلكَ يَنبَغي الاحتِراسُ من الصَّدَماتِ الكهربائيّةِ وأنتَ تُعالِجُها. اقْطَعِ التيّارَ قَبْلَ أنْ تُحاوِلَ إصلاحَ أيِّ عُطْلٍ، وإيّاكَ أنْ تَلْمِسَ أيَّ شيءٍ كهربائيٍّ ويَداكَ مَبْلولَتانِ، لأنَّ الماءَ مُوَصِّلٌ لِلتيّارِ الكهربائيّ.

إلى اليمين

تُصنَعُ كَبْلاتُ خُطوطِ الإمدادِ الرئيسيّةُ من النُّحاسِ (وهو مُوَصِّلٌ جَيِّدٌ) أو منَ الألومِنيُوم (وهو أقَلُّ كُلْفَةً). وتُعزَلُ الكَبْلاتُ عادةً بلدائنِ كُلوريدِ البُوليڤينيل. إنَّ الكَبْلاتِ الوارِدةَ من مَحطّةِ التوليدِ هيَ ذاتُ جُهْدٍ كَهرَبائيٍّ عالٍ ويَنْبَغي عَزْلُها بِموادَّ خاصّةٍ لِنَقْلِ التيّارِ بأمانٍ.

إلى ٱليَسار

سَرَيانُ ٱلكهرباء في سِلكٍ شَبيهٌ من عِدَّةِ وُجوه بسَرَيانِ ٱلماءِ في أنبوب . ولنَفرِضْ أنَّ الماء من خزَّانٍ يَسري في أنبوبٍ أُفقيٍّ كما في ٱلشَّكلِ . يَتناقَصُ ٱلضغطُ على طُولِ الأُنبوبِ بتأثيرِ مُقاوَمَةِ جُدرانِ الأُنبوبِ ، وهذا ما يُبيِّنُهُ ٱرتفاعُ ٱلماءِ ٱلمُتَناقِصُ في الأَنابيبِ العَمُودِيَّةِ ، لَو وصَلْتَ بَعْضًا مِنْها على طُولِ الأُنبُوب الأُفقيِّ . وهكَذا أيْضًا تَتَناقَصُ ٱلڤُلطِيَّةُ على طُولِ السِّلكِ بتَأثيرِ مُقاوَمَتِه لِسَرَيانِ ٱلتيَّار فيه . فٱلتيَّارُ الكهربائيُّ في ٱلدائرةِ الكهربائيَّةِ شَبيهٌ بِتيَّارِ ٱلماء ،وفَرْقُ ٱلجُهْدِ ٱلكهربائيِّ شَبيهٌ بٱلضَّغطِ .

ٱلجُهْدُ ٱلكَهربائيُّ (ٱلڤُلْطِيَّةُ) وٱلمُقاوَمَة

يُمكِنُ تَشْبيهُ سَرَيانِ ٱلتيَّار ٱلكَهربائيِّ مِن عِدَّةِ وُجُوهٍ بِسَرَيانِ ٱلماءِ في أُنْبُوب . فَفي ٱلحالَيْنِ لا بُدَّ مِنْ قُدْرَةٍ تَعْمَلُ على مُداوَمَةِ ٱلتيَّارِ – وَزْنُ ٱلماءِ أَو دَفْعُ ٱلمِضَخَّةِ في حالةِ أُنبوبِ ٱلماء ، وٱلبطاريَّةُ أَو مأْخَذُ ٱلإمدادِ ٱلرئيسيُّ في حالَةِ ٱلتيَّارِ ٱلكهربائي .

طَبْعًا لا تَسْري ٱلإِلِكْتروناتُ في ٱلسِّلكِ كما يَسْري سائلٌ في أُنْبُوب ، لكِنْ هُنالِكَ تَماثُلٌ في أَوْضاعِ ٱلسَّرَيانِ في ٱلحالَتَيْن . لِنَفْرِضْ أَنَّ تيَّارًا ثابتًا من ٱلماءِ يَسْري عَبْرَ أُنبوبٍ رَفيعٍ أُفُقيٍّ ، وأَنَّهُ يَتَّصِلُ بٱلأُنبوبِ ٱلأُفُقيِّ عَدَدٌ من ٱلأَنابيبِ ٱلعَمُوديةِ لِتَعْمَلَ كَمقاييسِ ضَغْطٍ فيُبيِّنُ ٱرتفاعُ ٱلماءِ فيها مِقدارَ ٱلضغطِ عِنْدَ نُقْطَةِ ٱتِّصالِها بالأُنبوب . إنَّكَ لو أَجْرَيْتَ مِثلَ هذِه ٱلتَّجربةِ تُلاحِظُ ٱنخفاضَ ٱلضَّغْطِ بَيْنَ فُتحَتَيِ ٱلدُّخولِ وٱلخُروجِ في ٱلأُنْبُوبِ ٱلأُفُقيِّ . إنَّ شِدَّةَ سَرَيانِ ٱلماءِ في الأُنبوب تَعْتَمِدُ على **فَرْقِ الضَّغط** بينَ طَرَفي الأنبوب ، تَمامًا كما يَعْتَمِدُ سَرَيانُ ٱلتيَّارِ الكَهْرَبائي في ٱلسِّلك على فَرْقِ ٱلضَّغْطِ ٱلكَهربائيِّ الذي يَدْفَعُ ٱلإلِكترونات عَبْرَه ، ويُسَمَّى في هذه ٱلحالة **ٱلفَرْقَ في ٱلجُهْد** . وكَما هيَ ٱلحالةُ في سَرَيانِ ٱلماءِ تَعْتَمِدُ شِدَّةُ التيارِ في ٱلسِّلكِ على ٱلفَرْقِ في ٱلجُهْدِ ٱلكَهْرَبائيِّ بين طَرَفَيْه . وتُسَمَّى هذه ٱلعَلاقَةُ **قانُونَ أُوم** نِسْبَةً إلى جُورج أُوم ٱلذي اكتَشَفَها . ويَنُصُّ هذا القانونُ على أنَّ ٱلتيَّارَ يَتناسَبُ طَرْدِيًّا مع ٱلفَرقِ في ٱلجُهْدِ – يَزيدُ بٱزْدِيادِه ويَقِلُّ بٱنْخفاضِه .

يُقاسُ فَرْقُ ٱلجُهدِ ٱلكهربائي **بٱلڤُلْط** ، وهذه ٱلوَحْدَةُ تَحْمِلُ ٱسمَ ٱلعالِمِ ٱلايطالي ڤُولْتا . في سَرَيانِ ٱلماءِ عَبْرَ الأنبوبِ يَنْخَفِضُ ٱلضغطُ بفِعْلِ الاحتكاكِ بينَ ٱلماءِ وجَوانِبِ الأُنبوبِ ، وكذلكَ في سَرَيانِ ٱلتيَّارِ ٱلكهربائيِّ هُنالِكَ **مُقاوَمَةٌ** لِسَرَيانِ ٱلإلِكتروناتِ ، سَبَبُها ٱرتِطامُ الإلِكتروناتِ بِذَرَّاتِ ٱلسِّلكِ أو بَعْضِها بِبَعْض . وتُقاسُ هذِه ٱلمُقاوَمةُ عَمَليًّا بِقِسْمَةِ فَرْقِ ٱلجُهْدِ بٱلڤُلْطِ على شِدَّةِ ٱلتيَّارِ بالأَمبير . وهذه العبارةُ هي نَصٌّ آخَرُ لِقانُونِ أُوم . وبٱلمُناسبة نَذْكُرُ أَنَّ وَحْدَةَ قِياسِ المُقاوَمَةِ هِيَ **ٱلأُوم** نِسْبَةً إلى هذا ٱلعالِم نَفْسِه .

يُسْتَخْدَمُ قانونُ أُوم في حِساب مُقاوَمَةِ ٱلمَصاهِرِ في مَنازِلِنا . وٱلمِصْهَرُ هُوَ نَبيطَةٌ صَهيرةٌ (سَريعَةُ ٱلانْصِهار) تَحمِي ٱلأَدواتِ ٱلكَهرَبائيَّة (وٱلدائرةَ ٱلكهربائيةَ في المَنْزِل) من ٱلخَطرِ إذا حَدَثَ خَلَلٌ في ٱلعَزْلِ **يُقَصِّرُ ٱلدائرةَ ٱلكهرَبائيَّةَ** فيها . فمَثلاً لَو سَقَطَ مِصباحٌ كَهرَبائيٌّ نَضَدِيٌّ فٱنكَسَرَتْ زجاجَتُه وٱلتَقى طَرَفَا ٱلسِّلكَيْنِ ٱلمُتَّصِلَيْن بٱلفَتيلةِ مُباشَرةً تَقْصُرُ ٱلدائرةُ ٱلكهربائيَّةُ في ٱلمِصباح ويَسْري تيَّارٌ عالِي ٱلشِّدَّةِ فيهِ لانعِدامِ تأْثيرِ مُقاومَةِ ٱلفَتيلَةِ ٱلعاليةِ في ٱلحَدِّ من قِيمةِ ٱلتيارِ ٱلسَّاري في دائرته . وإذا ٱستمرَّ هذا ٱلحالُ فإنَّ دَرَجةَ ٱلحَرارةِ تَسْتَمِرُّ في ٱلارتِفاع وقَدْ يُسَبِّبُ ذلكَ حَريقًا في ٱلمَنْزِل .

ولِتفادِي هذا ٱلخَطَرِ أَصْبَحَ يُسْتَخْدَمُ مَعَ كُلِّ أَداةٍ كهربائيَّةٍ تَقْريبًا مِصْهَرٌ خاصٌّ في مِقْبَسِها . وهذا ٱلمِصْهَرُ يتأَلَّفُ من سِلْكٍ رفيعٍ يَنْصَهِر فيَقطَعُ الدائرةَ الكهربائيَّةَ عندما يَتجاوزُ ٱلتيَّارُ ٱلمارُّ فيهِ ٱلحَدَّ ٱلمأْمونَ . وهكَذا تَحُدُّ مُقاومَةُ ٱلمِصْهَرِ ٱلعالِيَةُ مِنْ قِيمةِ ٱلتيَّارِ ٱلسَّاري . فَمِنَ ٱلمُهِمِّ إذَنْ ٱختِيارُ ٱلمِصْهَرِ ذِي ٱلمُقاوَمَةِ ٱلصحيحةِ لِكُلِّ أَداةٍ كَهربائيَّة .

أوم

فَوْق

جُورج سِيمُون أُوم (١٧٨٩ – ١٨٥٤) عالِمٌ ألمانيٌّ ٱكتَشَفَ أَنَّ شِدَّةَ ٱلتيَّارِ تَتَناسَبُ طَرْدِيًّا مع فَرْقِ ٱلجُهدِ الكَهربائيِّ «قانُون اوم» . وبٱسمِه سُمِّيَتْ وَحْدَةُ قِياسِ المُقاومَةِ «ٱلأُوم» .

ڤولْتا

فَوْق

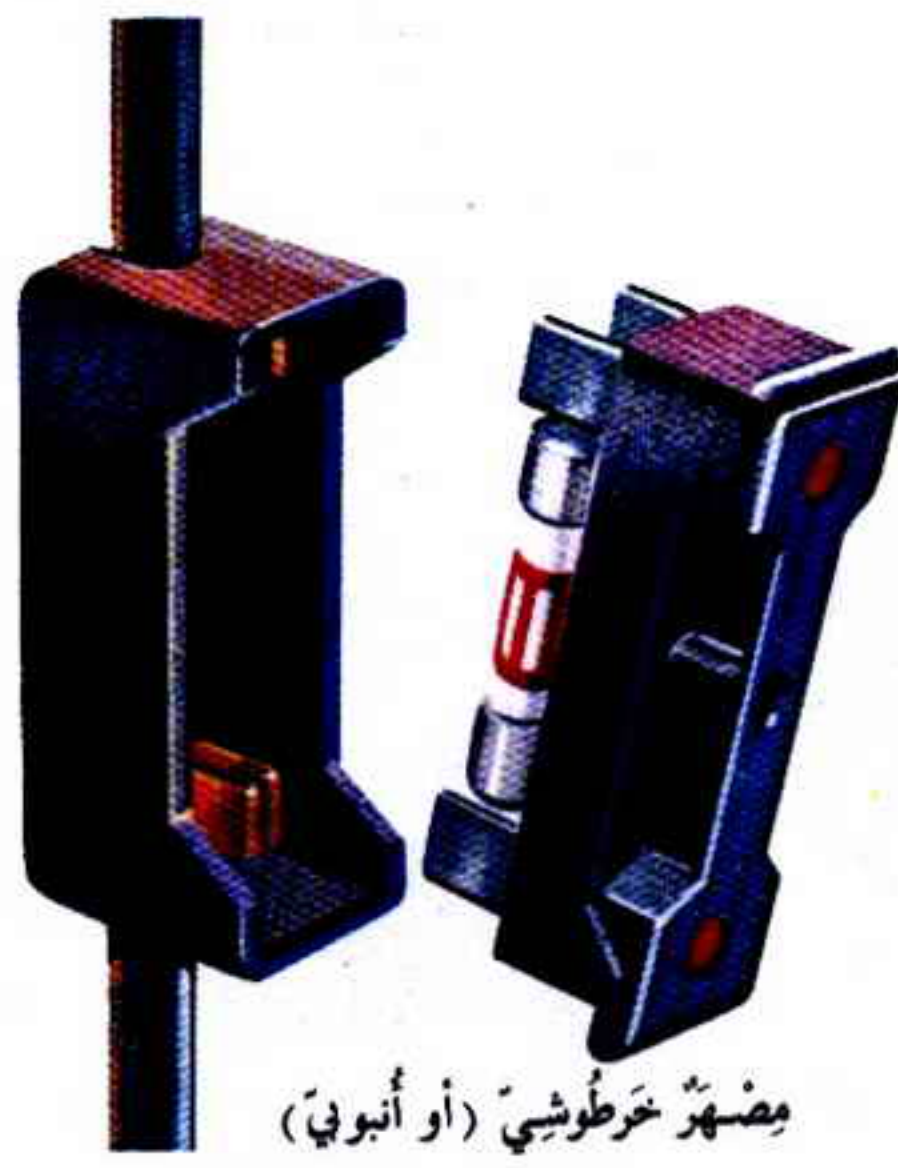
ٱلكُونْت إلِسَّاندرو ڤُولْتا (١٧٤٥ – ١٨٢٧) عالِمٌ إيطاليٌّ كانَ أولَ من قال بِفِكْرَة التيَّار ٱلكهربائيِّ وصَنَعَ أوَّلَ بَطَّاريَّةٍ لِتَوْليدِه . وبٱسمِه سُمِّيَتْ وَحْدَةُ قياسِ فَرْقِ ٱلجُهْدِ الكَهربائيِّ «ٱلڤُلْط» .

إلى اليمين وإلى اسفل

بَعْضُ ٱلمَصاهِرِ تُصْنَعُ على شَكْلِ خَراطيشَ وبَعْضُها أسلاكٌ عارِية . كانَتِ العادةُ أَنْ تُجْمَعَ مَصاهِرُ ٱلبَيْتِ كُلُّها في عُلْبَةِ ٱلمَصاهِرِ ، أمَّا في ٱلمَنازِلِ ٱلعَصرِيَّةِ فيُخَصَّصُ لِكُلِّ مِقْبَسٍ مِصْهَرٌ خاصّ .

مِصْهَرٌ خَرطُوشِيّ (أو أُنبوبيّ)

مِصْهَر خَرطوشي يَحْتَمِلُ ١٣ أمبيرًا

أَسلاكُ ٱلمَصاهِرِ

فَوْق

تَتناسَبُ مُقاوَمَةُ سِلْكِ ٱلمِصْهَرِ عَكْسيًّا مع قُطرِه ، فكُلَّما تَخُنَ ٱلسِّلْكُ ٱنْخَفَضَتْ مُقاوَمَتُه . ويُستَعانُ بِقانُونِ أُوم لِحسابِ ٱلمُقاوَمَة . فَفي ٱلمَنْزِلِ العَصْرِيِّ تَنْفَصِمُ ٱلمَصاهِرُ إذا تَجاوَزَ ٱلتيّارُ فيها ١٣ أمبيرًا . فمُقاوَمَةُ ٱلمِصْهَرِ إذن تُساوي

$\frac{١١٠}{١٣}$ = ٨.٤٦ أُوم ، إذا كانت فُلطية المورد ١١٠ فُلطات

$\frac{٢٢٠}{١٣}$ = ١٦.٩٢ أُوم إذا كانت فُلطيةُ المَورِد ٢٢٠ فلطًا

$\frac{٢٤٠}{١٣}$ = ١٨.٤٦ أُوم إذا كانت فُلطيةُ المورد ٢٤٠ فلطًا

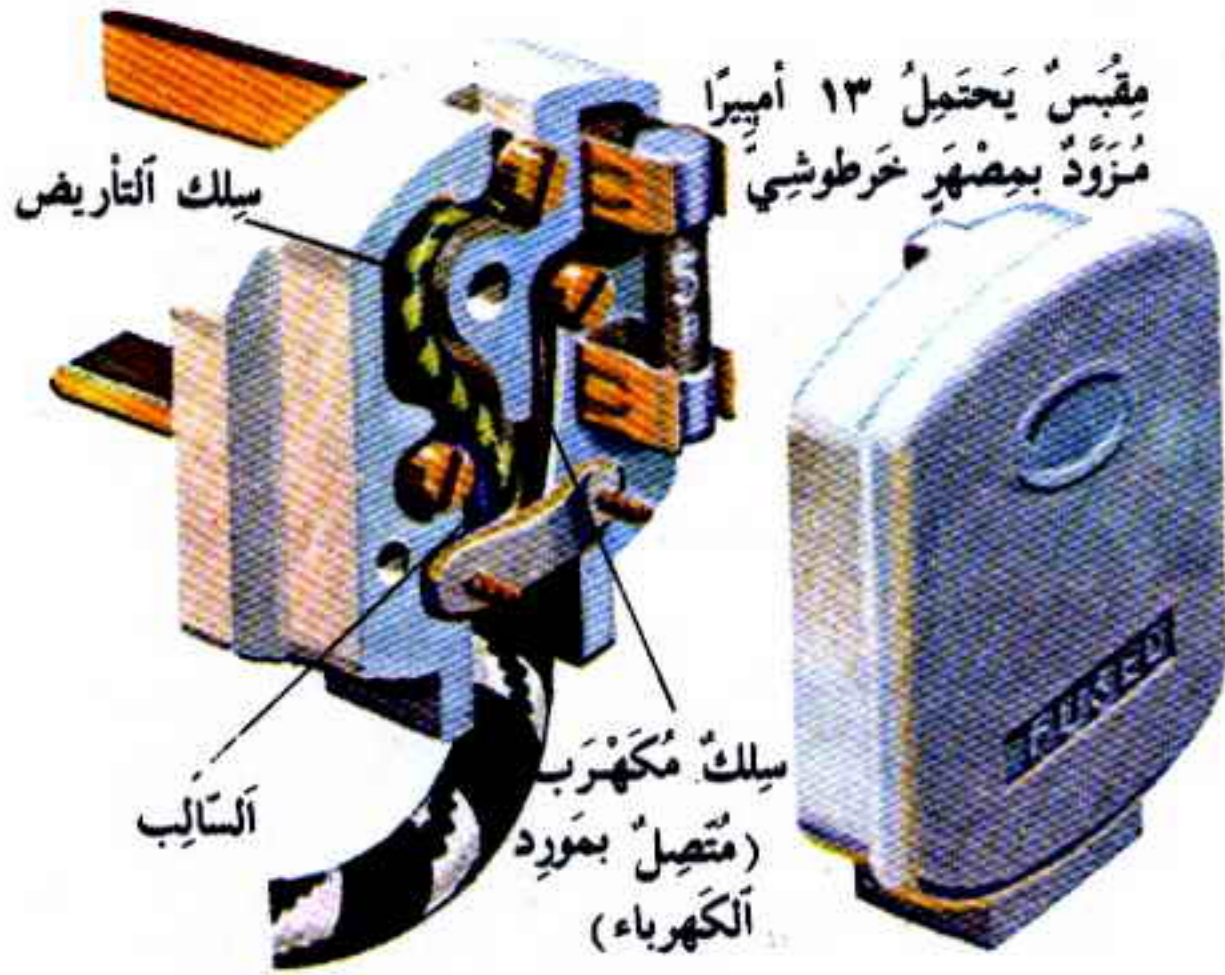
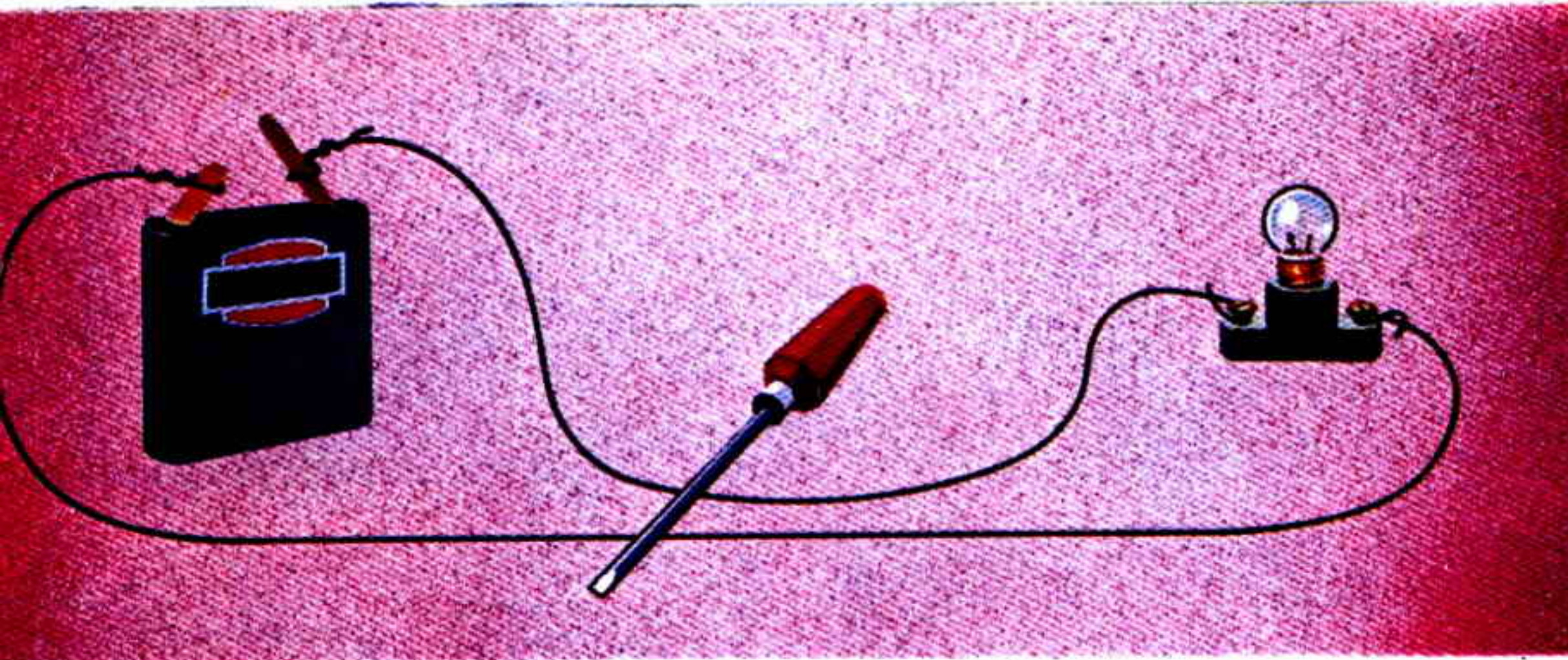
مِقْبَسٌ يَحتَمِلُ ١٣ أمبيرًا مُزَوَّدٌ بِمِصْهَرٍ خَرطوشِيٍّ

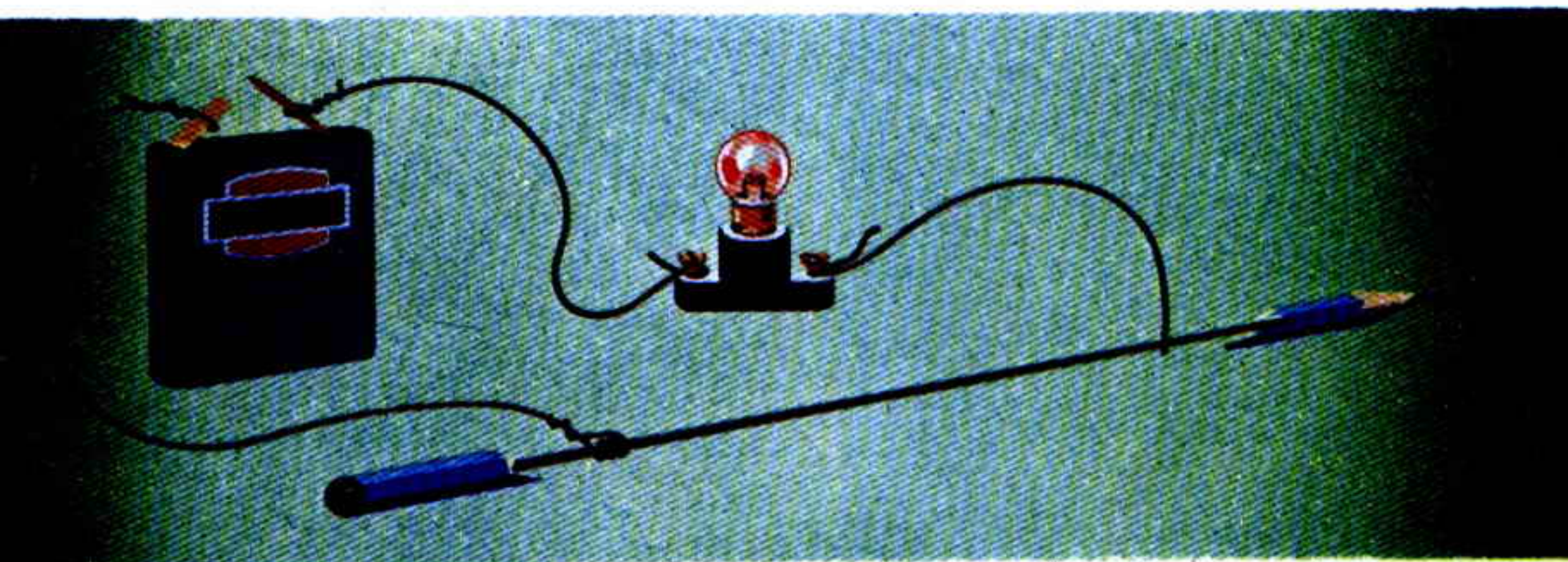
سِلكُ ٱلتأريض

السّالِب

سِلكٌ مُكَهْرَبٌ (مُتَّصِلٌ بمَورِدِ ٱلكَهرباء)

مِصْهَر سِلكِيٌّ

إلى ٱليسار

إختِبارٌ بَسيط لِبَيانِ دائرةِ ٱلقِصَر . وَصِّلْ بُصَيلَةَ مِصباحٍ صَغيرةً بسِلْكَيْن عارِيَيْن إلى بَطّارِيَّة . إعتَرِضِ ٱلسِّلْكَيْن بِمُوَصِّلٍ مَعدِنيٍّ كمِفَكٍّ مثلًا ، ولاحِظ ٱنطفاءَ ٱلبُصيلَةِ وسُخُونَةَ السِّلْكَيْنِ بين المِفَكِّ والبَطّارِيّة . لقَد أحدَثَ ٱلمِفَكُّ دائرةَ قِصَر ، فَمُقاوَمَتُهُ ٱلخَفيضَةُ تَجعَلُ التيارَ يَمُرُّ عَبْرَه لا عَبْرَ فَتيلَةِ ٱلبُصيلَةِ ٱلرفيعةِ ذاتِ ٱلمُقاوَمةِ ٱلعالية .

إلى ٱليَسار

مُقاوَمَةٌ مُتَغَيِّرَةٌ أو رِيُوسْتات . يُمكِنُكَ صُنْعُ مُقاوَمَةٍ مُتَغَيِّرة مِن ٱلقَلْبِ الغرافيتيِّ لِقَلَمِ رَصاصٍ مُعَرًّى كما في ٱلشكل . وَصِّلْ طَرَفَي ٱلسِّلْكَيْن في الدائرة إلى ٱلقلبِ جاعِلًا إحدى ٱلوَصْلَتَيْن انزلاقِيَّةً . فكُلَّما زِدْتَ مِن طُولِ ٱلقَلْبِ ٱلغرافيتيِّ في الدائرة تَزْدادُ ٱلمُقاوَمَةُ ويَخِفُّ تَوَهُّجُ ٱلبُصَيلَةِ وضَوْؤُها .

إلى اليسار

تُحمَّى المِكواةُ بعُنصرِ تسخينٍ يتألّفُ مِنْ سِلْكٍ مُوَصِّلٍ عالي المُقاوَمَةِ مَلفوفٍ حَولَ صَفيحَةٍ عازِلَةٍ. وتَضُمُّ دارَةُ المِكواةِ نَبيطَةً تَحَكُّمٍ تَقطَعُ التيّارَ تِلقائيًّا عِندَما تَبلُغُ دَرَجةُ الحرارةِ حدًّا مُعيَّنًا. وهذِهِ النَّبيطةُ تتألّفُ مِن شَريحَةٍ ثُنائيّةِ المَعدِنِ تَنثَني عِندَ التَّسخينِ لاختِلافِ مُعامِلِ التَمدُّدِ بَيْنَ مَعدِنَيْها. وهذا الأنثِناءُ يُبْعِدُ طَرَفَي التَّماسِّ في الشَّريحةِ الثُّنائيّةِ فتَنفَتِحُ الدائرةُ الكَهرَبائيّةُ ويَنقَطِعُ التيّارُ المارُّ فيها فيَبرُدُ عُنصُرُ التسخينِ.

إلى أسفَل

مُجَفِّفةُ الشَّعْرِ الكَهرَبائيّةُ. عِندما تُشَغِّلينَ المُجَفِّفَةَ تَبدأُ مِلَفّاتُ التَّسخينِ قُربَ فُوَّهَةِ النَّفْثِ بالتوَهُّجِ. وفي الوقتِ نَفْسِهِ يُشَغِّلُ المُحَرِّكُ مِرْوَحةً تَمتَصُّ الهَواءَ من مَنْفَذٍ جانِبيٍّ في المُجَفِّفَةِ وتَدفَعُهُ نَحوَ فُوَّهَةِ النَّفْثِ عَبْرَ مِلَفّاتِ التَّسخينِ حَيثُ يَنطَلِقُ ساخِنًا.

إيّاكِ أن تَسُدّي مَنفَذَ الهواءِ الجانِبيَّ والمُجَفِّفَةُ شَغّالَةٌ، لأنّهُ بِدُونِ تيّارِ الهَواءِ عَبْرَ المِلَفّاتِ، تَرتَفِعُ دَرَجةُ حَرارةِ هذِهِ المِلَفّاتِ بِاستِمرارٍ، وقَد يَنصَهِرُ المِقبَضُ حَولَها لِشِدّةِ الحرارةِ.

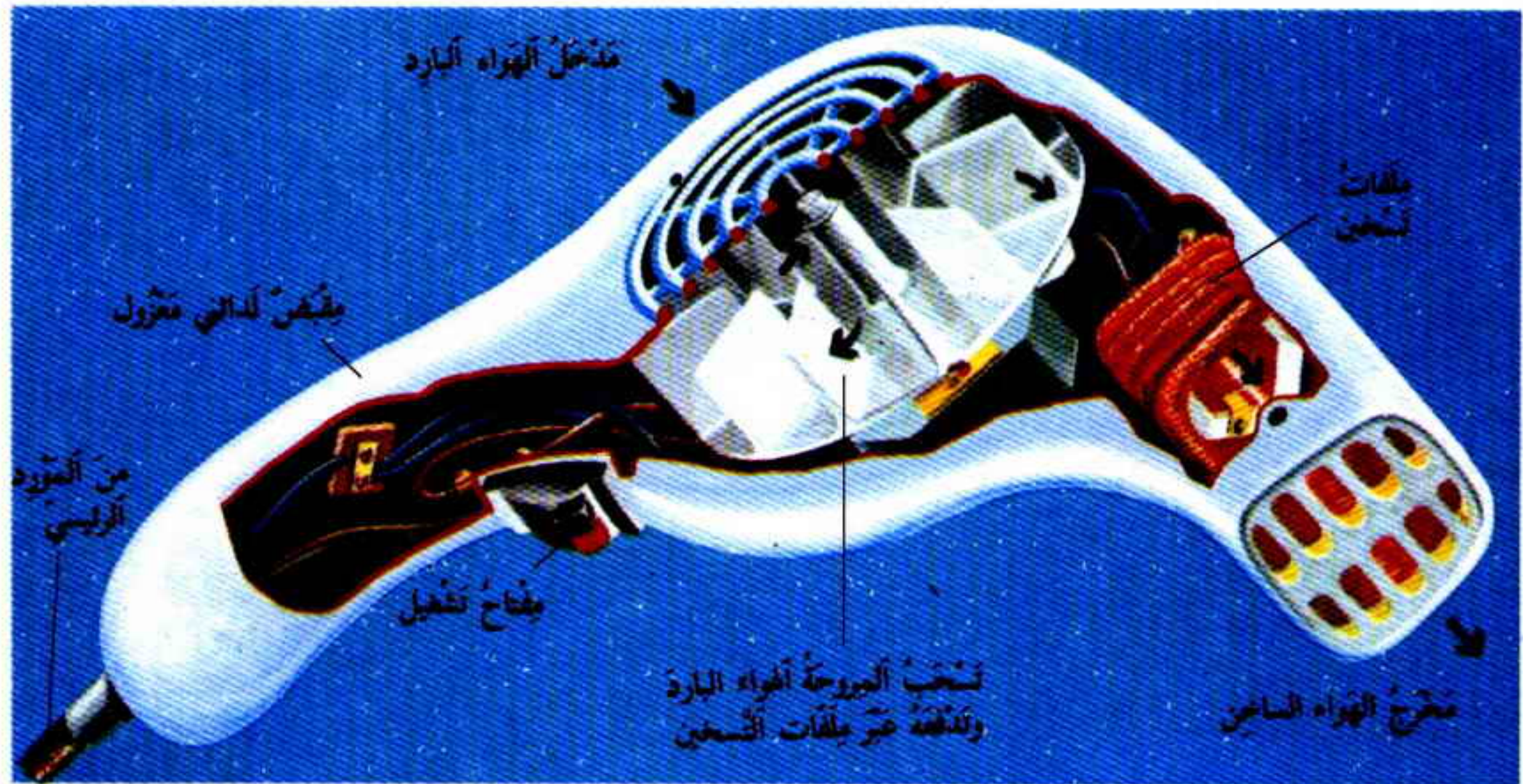
إلى اليسار

مُزدَوِجةٌ حَرارِيّةٌ. يُوصَلُ سِلْكانِ من مَعدِنَيْنِ مُختَلِفَيْنِ لِيُكوِّنا حَلْقَةً إطارِيّةً، ثُمَّ يُوصَلُ عَبْرَ أحَدِ السِّلكَيْنِ أمّيتَرٌ حَسّاسٌ لِقِياسِ التيّارِ. يُسَخَّنُ أحَدُ طَرَفَي اتِّصالِ السِّلكَيْنِ بِشَمعَةٍ بينَما يُبَرَّدُ طَرَفُ الاتِّصالِ الآخَرُ بالجَليدِ. يُلاحَظُ أنَّ التيّارَ الأقوى، الّذي سَجَّلَهُ الأمّيتَرُ، تَوَلَّدَ عندما بَلَغَ فَرقُ دَرَجَتَيِ الحرارةِ بينَ الطرَفَيْنِ أقصَى حَدٍّ لَه. ويُلاحَظُ كذلِكَ أنَّ التيّارَ يَنخَفِضُ عند خَفضِ الفَرْقِ بينَ دَرَجَتَيِ الحرارةِ إمّا بِرَفْعِ الشَّمعةِ أو بإزالَةِ كأسِ الجليدِ.

إلى اليَسار

يُمكِنُ استِخدامُ المُزدَوِجَةِ الحرارِيّةِ لِقِياسِ شِدَّةِ الأشِعَّةِ الشَّمسِيّةِ. ويَتألّفُ الجِهازُ الخاصُّ بِذلكَ من نِصفَيْ كُرَةٍ زُجاجِيَّيْنِ مُثَبَّتٍ في كُلٍّ مِنهُما قُرصٌ مُسَوَّدٌ. يُجعَلُ نِصفُ الكُرَةِ العُلوِيُّ في مُواجَهَةِ الشَّمسِ والسُّفلِيُّ في مُواجَهةِ الأرضِ. ويُرَكَّبُ بينَ القُرصَيْنِ المُسَوَّدَيْنِ سِلسِلَةٌ مِنَ المُزدَوِجاتِ الحرارِيّةِ بِحَيثُ تُحْمَى مَجمُوعةٌ من أطرافِ الاتِّصالِ بأشِعَّةِ الشَّمسِ مُباشَرَةً بَيْنَما تُحمَى أطرافُ الاتِّصالِ السُّفلِيّةُ بالأشِعَّةِ المُنعَكِسَةِ. ونَتيجَةً لِلفَرْقِ في دَرَجَتَيِ الحرارةِ بَيْنَ مَجموعَتَي أطرافِ التَّوصيلِ يَتَوَلَّدُ تيّارٌ كَهرَبائيٌّ يُمكِنُ قِياسُهُ وتَسجيلُهُ، وبِذلِكَ نَحصُلُ على سِجِلٍّ لِلتَغيُّراتِ في شِدَّةِ إشعاعِ الشَّمسِ على مَدَى النَّهارِ.

إلى اليَسار

يُمكِنُ الحُصولُ على تأثيرٍ مُعاكِسٍ لِظاهِرَةِ المُزدَوِجَةِ الحرارِيّةِ وذلكَ بإمرارِ تيّارٍ عَبْرَ سِلكَيْنِ من مادّتَيْنِ مُختَلِفَتَيْنِ شِبْهِ مُوصِّلَتَيْنِ. فيُلاحَظُ أنَّ أحدَ طَرَفَي الاتِّصالِ يَبرُدُ بينَما يَسخُنُ طَرَفُ الاتِّصالِ الآخَرِ.

مِلفّاتُ التَّسْخين

يُجابِهُ التّيّارُ مُقاوَمَةً في أثناءِ سَرَيانِهِ في الأسلاكِ، فَلِكُلِّ مُوَصِّلٍ مُقاوَمَتُهُ ولَو أنَّ هذه المُقاوَمَةَ قَليلَةٌ جدًّا في المَوادِّ الجَيِّدَةِ التوصيلِ. وتَتَوَلَّدُ حرارةٌ عِندَما تَسْري الكَهرباءُ عَبْرَ مُقاوَمَةٍ، وكُلَّما ازدادتِ المُقاوَمَةُ ازدادتِ الحَرارَةُ المُتَوَلِّدَةُ في مُجابهَتِها. وقد يَسْخُنُ المُوَصِّلُ المُقاوِمُ حتَّى دَرَجَةِ الاحْمِرارِ كَما في السَّخّانَةِ (أو المِدْفَأةِ) الكَهْرَبائيّةِ أو حتّى درجةِ الابْيِضاضِ كَما في فَتيلَةِ المِصباحِ الكهربائيِّ. أسلاكُ النُّحاسِ الثَّخينَةُ قليلَةُ

ٱلْمُقاومَةِ جدًّا أمّا الأَسلاكُ ٱلرَّفيعةُ ٱلمَصْنوعةُ مِن خلائطَ مَعدِنيَّةٍ خاصَّةٍ فهي عاليةُ ٱلمُقاوَمة. وتُستَخْدَمُ هذه **ٱلخلائطُ ٱلمَعْدِنيَّةُ أو ٱلأشاباتُ** لِصُنْعِ **مِلَفّاتِ ٱلتَّسخينِ** في ٱلسَّخاناتِ ٱلكَهربائيَّةِ والمَكاوي ومُحمِّصاتِ ٱلخُبْزِ وٱلغَلّاياتِ والسَّخاناتِ ٱلغاطِسَةِ لِلحَمّامات.

في ٱلمِكواةِ ٱلكَهرباثيَّةِ يَسْخُنُ ٱلمِلَفُّ ولكِنَّهُ لا يَصِلُ إلى دَرَجةِ الاحمرارِ لِئَلّا تَحترِقَ ٱلثِّياب. أمّا في المِدفأةِ (أو السَّخّانةِ) ٱلكَهربائيَّةِ فإنَّ مِلَفَّ (أو عُنْصُرَ) ٱلتَّسخينِ يَتَوهَّجُ بِٱلحَرارة.

يُمكِنُكَ صُنْعُ مِدفأةٍ كَهربائيَّةٍ بسيطةٍ مِن عُلْبةٍ مَعْدِنيَّةٍ طولُها حوالَى ١٣ سَنْتيمِترًا وقُطْرُها نَحو ١٠ سَنْتيمِترات. اِقْطَعْ حَوالَى نِصْفِ ٱلجانِبِ ٱلطُّوليِّ مِنَ ٱلعُلْبَةِ ثُمَّ ٱثْقُبْ في كُلٍّ مِنْ نِهايَتَيْها ٱلمُستديرَتَيْنِ ثَقْبًا لِتُثَبِّتَ فيه قِطعةً من أُنْبوبٍ فَخاريٍّ **كعازِلٍ** لِعُنْصُرِ ٱلتَّسخين. لُفَّ حوالَى ٣٠ سَنتيمترًا من سِلْكِ **نيكْروم** عِياريٍّ رقم ٢٤ على إبْرَةِ حِياكةٍ لِتَصْنَعَ مِنْهُ عُنْصُرَ تَسْخينٍ مُلَوْلَبًا ثُمَّ ٱرفَعِ الإبْرَةَ وأَمرِرْ طَرَفَي عُنْصرِ ٱلتسخينِ في أُنْبوبَيِ ٱلفَخّارِ عَبْرَ ثَقْبَيِ ٱلعُلْبَةِ المعدِنيَّة. سَمِّرِ ٱلعُلْبَةَ فوقَ قاعِدةٍ خَشَبيَّةٍ ثُمَّ وَصِّلْ طَرَفَيْ عُنْصرِ ٱلتَّسخينِ بِسِلْكَيْنِ إلى مِسمارَيْ رَبْطٍ مُثَبَّتَيْنِ في ٱلقاعِدةِ ٱلخَشَبيَّة. وأخيرًا صِلْ مِسْمارَيِ ٱلرَّبْطِ بِبَطّاريَّةٍ جُهْدُها ٦ فُلطات وراقِبْ تَوهُّجَ عُنْصُرِ ٱلتَّسخينِ بِٱلحَرارةِ ٱلمُتَوَلِّدة. إنَّ ٱنعِكاسَ ٱلحرارةِ عن داخِلِ ٱلعُلبةِ ٱلمَعدِنيَّةِ يَزيدُ من فاعِليَّةِ ٱلمِدفأةِ في ٱتِّجاهِ فُتْحَتِها.

إنَّ عَناصِرَ ٱلتَّسخينِ ٱلكَهْرَبائيِّ هِيَ وَسائلُ لِتَحْويلِ ٱلطّاقَةِ ٱلكَهْرَبائيَّةِ إلى حَرارة. ولِعَكْسِ هذهِ ٱلعمليَّةِ، أيْ لِتَوليدِ ٱلطّاقةِ ٱلكَهرَبائيَّةِ مِنَ ٱلحَرارةِ، يُمكِنُ ٱستِخْدامُ ٱلمُزْدَوجةِ ٱلحراريَّة. تتألَّفُ **ٱلمُزْدَوجةُ ٱلحراريَّةُ** من سِلْكَيْنِ من مَعْدِنَيْنِ فِلِزِّيَّيْنِ مُخْتَلِفَيْنِ مُتَّصِلَيْنِ في نُقطَتَيْنِ طرفيَّتَيْنِ بِحَيْثُ يُؤَلِّفُ ٱلسِّلْكانِ حَلْقَةً كَهربائيَّةً إطاريَّة. فإذا كانَ طرفَا ٱلاتِّصالِ على درجَتَيْ حَرارةٍ مُختَلِفَتَيْنِ يَسْري في ٱلسِّلْكِ تيّارٌ كهربائيٌّ ضَعيفٌ. وتَعْتَمِدُ شِدَّةُ هذا ٱلتَّيّارِ ٱلمُتَوَلِّدِ على فَرْقِ دَرَجَتَيِ ٱلحرارةِ بَيْنَ طَرَفَيِ ٱلاتِّصالِ، فكُلَّما ٱزدادَ هذا الفَرْقُ زادَتْ قُوَّةُ ٱلتَّيّار. فإذا وَصَلْتَ طَرَفَيْ سِلْكٍ نُحاسيٍّ بِطَرَفَيْ سِلْكٍ حَديديٍّ وغَمَسْتَ أَحَدَ طَرَفَيِ ٱلاتِّصالِ في كأسِ ماءٍ مُثَلَّجٍ بَيْنَما يُسَخَّنُ طَرَفُ ٱلاتِّصالِ الآخَرُ فَوقَ لَهَبِ شَمْعَةٍ تُلاحِظُ أنَّ الأمِّيتَرَ الحَسّاسَ يُسَجِّلُ سَرَيانَ تَيّارٍ كَهْرَبائيٍّ. إنَّ هذا التيّارَ ضَعيفٌ بِحَيْثُ إنَّه يَعْجَزُ عَن إضاءةِ بُصَيْلَةِ مِصْباحٍ صَغيرةٍ ولكِنَّهُ مُفيدٌ جدًّا في قِياسِ دَرَجاتِ ٱلحرارةِ ٱلعاليَةِ بِشَكْلٍ خاصّ.

وهذهِ ٱلظّاهرةُ تَعْمَلُ أيضًا بِشَكْلٍ عَكْسيٍّ. فإذا سَرى تيّارٌ في حلقةِ ٱلمُزْدَوِجَةِ ٱلحراريَّةِ ٱلّتي تَضُمُّ طَرَفَيِ ٱتِّصالِ ٱلمَعْدِنَيْنِ ٱلمُخْتَلِفَيْنِ يُلاحَظُ أنَّ أحَدَ طَرَفَيِ ٱلاتِّصالِ يَبْرُدُ بَيْنَما يَسْخُنُ ٱلطَّرَفُ ٱلآخَر. إنَّ هذه الظاهرةَ ضعيفةٌ جدًّا في ٱلمُزدَوِجاتِ ٱلحراريَّةِ ذاتِ ٱلمَعادِنِ ٱلفِلِزِّيَّةِ بِحَيْثُ تَبْقى قليلةَ ٱلنَّفْعِ عَمَليًّا، لكِن يُمْكِنُ تَقْويَتُها بِٱستِخْدامِ نَوْعَيْنِ مُخْتَلِفَيْنِ من شِبْهِ ٱلمُوَصِّلات.

إلى اليمين

مِدفأة كَهربائيةٌ صَغيرةٌ يُمكِنُكَ صُنْعُها. يُحضَرُ عاكِسُ ٱلمِدفأةِ من عُلْبةٍ جساءٍ مَعْدِنيَّةٍ قُطِعَ جانِبٌ طُوليٌّ مِنها، وٱلعازِلانِ هُما قِطعتانِ من أُنبوبٍ فَخّاريّ. أمّا عُنْصُرُ ٱلتَّسخينِ فيُعَدُّ من سِلْكِ مُقاوَمةٍ لَولَبيٍّ سَبَقَ أن لُفَّ على إبْرةِ حِياكة. يَلزَمُكَ بَطاريَّةٌ جُهْدُها ٦ فُلطاتٍ لِتَشغيلِ هذه ٱلمِدفَأة.

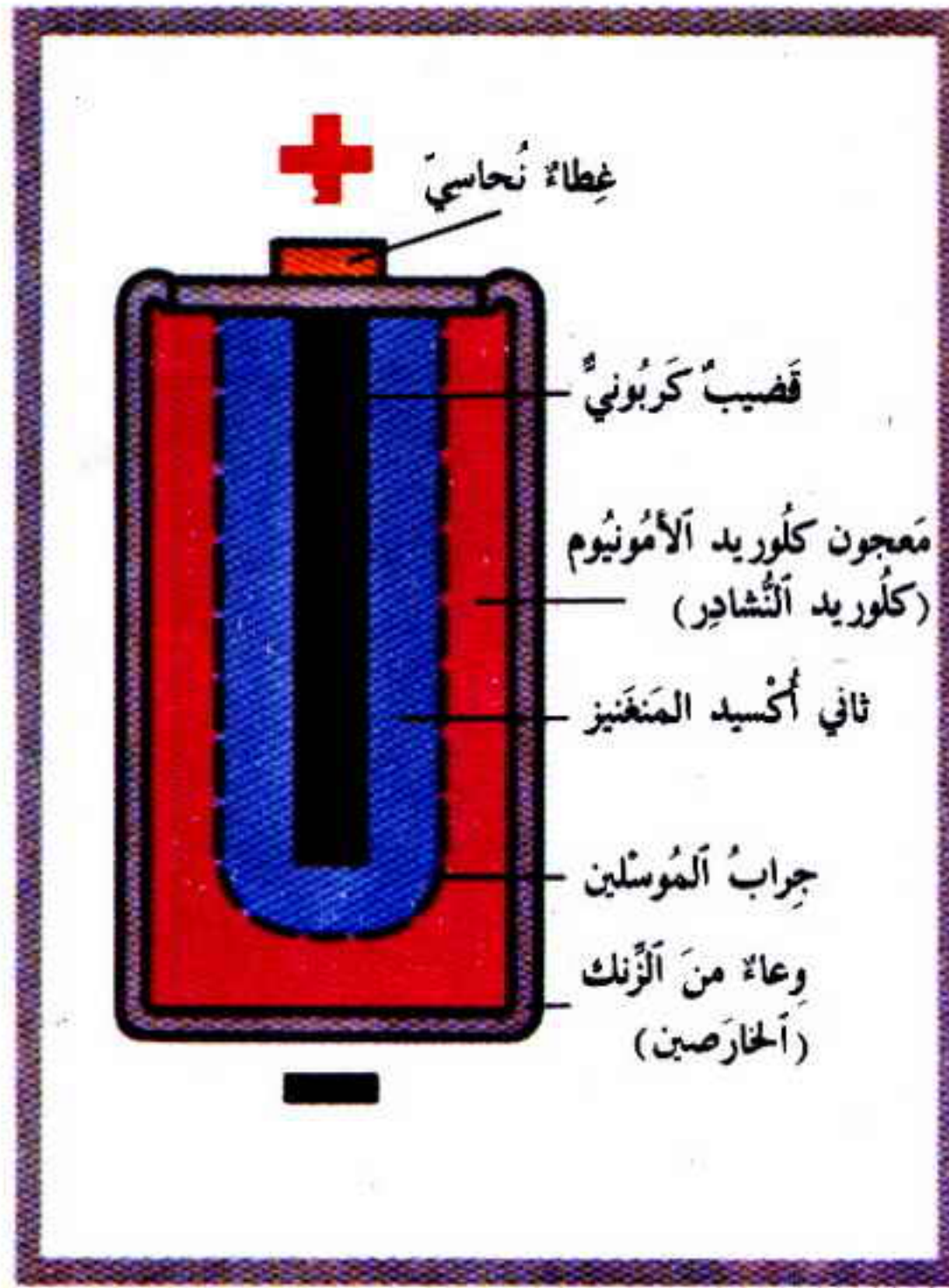
اَلبَطّارِيّاتُ ٱلجافَّةُ

إذا فَتَحْتَ مِصْباحَ جَيْبٍ كَهْرَبائِيًّا تَجِدُ بِداخِلِهِ بَطّارِيةً جافَّةً أو أكْثَرَ ، وإذا فَكَّكْتَ بَطّارِيَّةً مِنْها تَجِدُ أَنَّها مُكَوَّنَةٌ مِن وِعاءٍ مَعْدِنِيٍّ مِنَ ٱلزِّنْكِ (ٱلخارَصينِ) يَتَوَسَّطُهُ قَضيبٌ كَرْبُونيٌّ يُغَطّي طَرَفَهُ ٱلعُلْويَّ ٱلبارِزَ غِطاءٌ مِنَ ٱلنُّحاسِ ٱلأَصْفَرِ. وقَضيبُ ٱلكَرْبونِ هذا بِغِطائِهِ ٱلنُّحاسيِّ هُوَ ٱلقُطْبُ ٱلمُوجَبُ لِلبطارِيَّةِ أَمّا ٱلقُطْبُ ٱلسّالِبُ فَهُوَ قاعِدَةُ ٱلوِعاءِ ٱلخارَصينيِّ .

اِتَّفَقَ ٱلعُلَماءُ مُنْذُ بِدايَةِ عَصْرِ ٱلكَهرباءِ على ٱعتبارِ أَنَّ ٱلتَّيّارَ ٱلكَهربائيَّ يَسْري مِنَ ٱلقُطْبِ ٱلمُوجَبِ إلى ٱلقُطبِ ٱلسّالِبِ في ٱلدائرةِ ٱلكهربائيَّةِ ٱلَّتي تُغَذّيها ٱلبَطارِيَّةُ ، ويُسَمّي ٱلعُلَماءُ حالِيًّا هذَا ٱلتَّيّارَ بِٱلتَّيّارِ ٱلتقليديِّ .

لاحِظْ أَنَّ قَضيبَ ٱلكَربُونِ في ٱلبَطّارِيَّةِ مُحاطٌ بِمادَّةٍ كِماوِيَّةٍ هِيَ ثاني أُكْسيدِ ٱلمَنْغَنيزِ في جِرابٍ قُماشيٍّ رَقيقٍ (مِنَ ٱلمُوسْلينِ) . وبَيْنَ جِرابِ ٱلمُوسْلينِ هذا وٱلوِعاءِ ٱلخارَصينيِّ تَجِدُ مادَّةً كِماوِيَّةً أُخْرى على شَكْلِ مَعْجونٍ هِيَ كُلوريدُ ٱلأَمُونْيوم . يَحْصُلُ تَفاعُلٌ كِماوِيٌّ بَطِيءٌ بينَ هذِهِ ٱلموادِّ ٱلكِماوِيَّةِ يَنْتُجُ عَنْهُ فَرْقٌ في ٱلجُهدِ ٱلكَهربائيِّ بَيْنَ قُطْبَي ٱلبَطارِيَّةِ يَكْفي لإنارةِ بُصَيْلَةِ مِصباحٍ صَغيرةٍ إذا وُصِلَتْ بِقُطبَي ٱلبَطّارِيَّةِ. وعِنْدَ ٱستِهلاكِ كِماوِيّاتِ ٱلبطارِيَّةِ تَضْعُفُ ويقِلُّ ٱلتَّيّارُ ٱلمُنْبَعِثُ مِنْها ،

غِطاءٌ نُحاسيٌّ
قَضيبٌ كَرْبُونيٌّ
مَعجون كُلوريد ٱلأمُونيوم (كُلوريد ٱلنُّشادِر)
ثاني أُكْسيد المَنغنيز
جِرابُ ٱلمُوسْلين
وِعاءٌ مِنَ ٱلزِّنك (ٱلخارَصين)

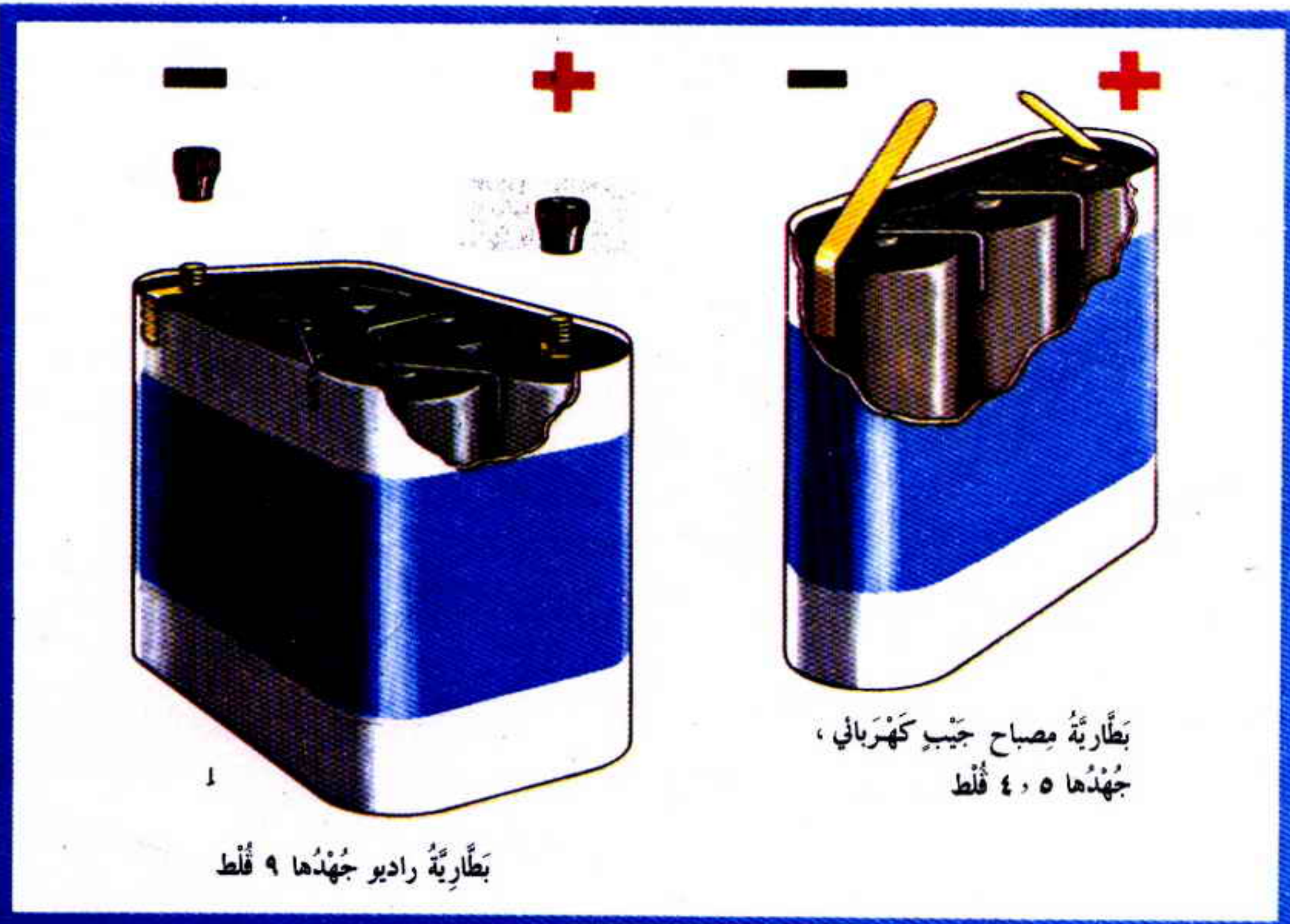
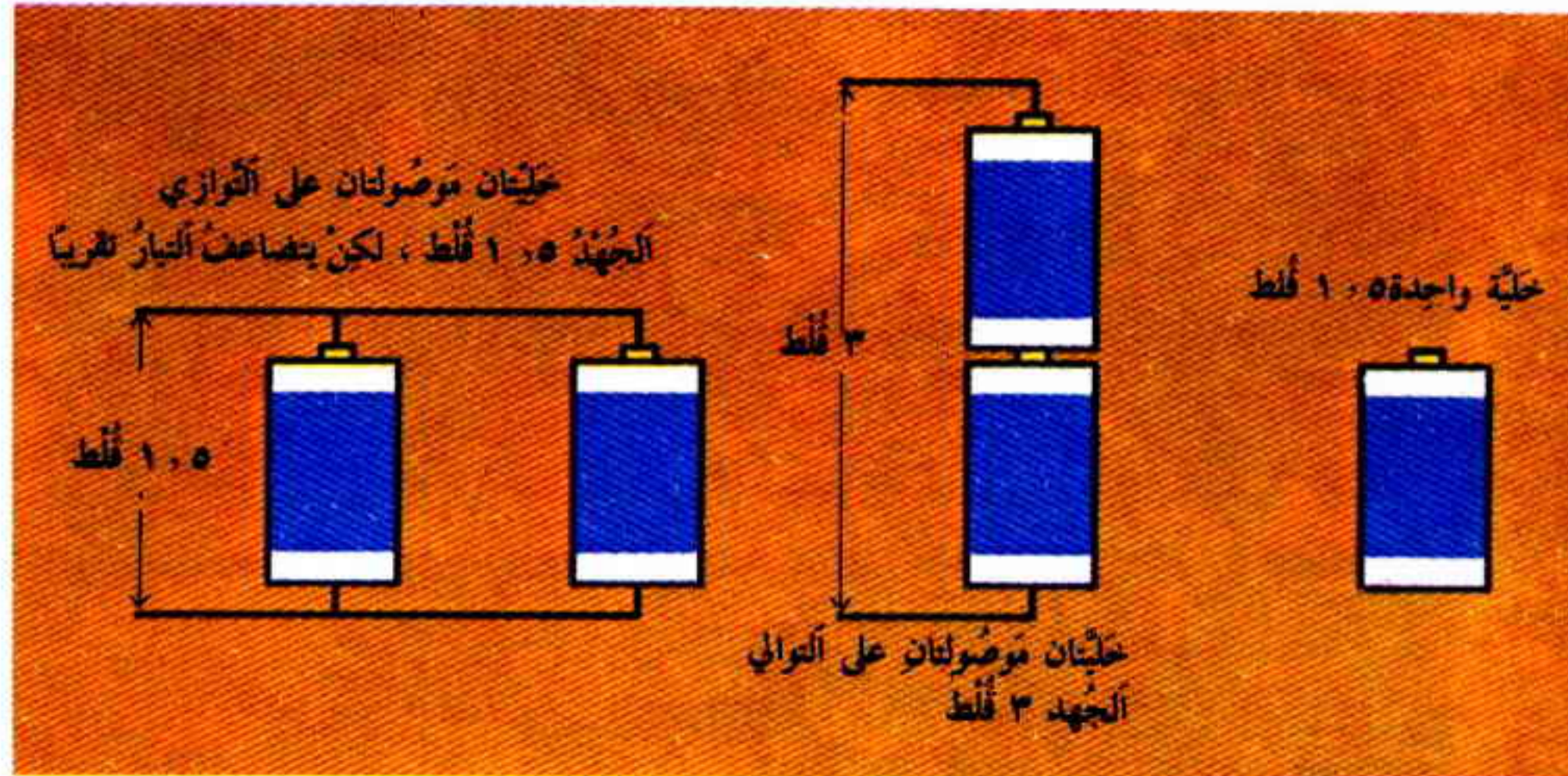
إلى ٱليَسار

اَلبَطّارِيَّةُ ٱلجافَّةُ. شَكْلٌ مُطَوَّرٌ من خَلِيَّةِ (أو عَمُودِ) لِكْلانْشيه ٱلتي ٱختَرعَها العالِمُ الفرنسيُّ جُورج لِكْلانشيه (١٨٣٩ – ١٨٨٢) . في خَلِيَّةِ لِكْلانْشيه ٱلأصلِيَّةِ يُسْتَخْدَمُ كُلوريد الأمونْيُوم بشَكْلٍ سائل ، لكِنَّه في ٱلبطارِيَّةِ ٱلجافَّةِ يُسْتَخْدَمُ بِشكلٍ مَعْجونٍ ، وهذا يُفيدُ في جَعْلِ البطارِيَّةِ سَهْلَةَ ٱلمُتَناوَلِ وٱلحَمْلِ . أَمّا ثاني أُكْسيد ٱلمَنْغَنيزِ حَوْلَ قَضيبِ الكَربونِ ٱلمَرْكَزيِّ في ٱلبطارِيَّةِ فيعملُ كَمُزيلٍ للاَستِقطاب وذلكَ بِٱمتصاصِ الغازاتِ المُتَوَلِّدةِ من ٱلتفاعُلِ الكِماويِّ في ٱلبطّارِيَّةِ .

إلى أَسفل

إذا وصَلْتَ بَطّارِيَّتَيْنِ مُتَساوِيَتَي ٱلڤُلْطِيَّةِ على ٱلتَّوالي تَتَضاعَفُ ٱلڤُلطِيَّةُ ، أَمّا اذا وصَلْتَهُما على ٱلتوازي فإنكَ تُضاعِفُ ٱلتَّيّارَ وتَبْقَى ٱلڤُلْطِيَّةُ على حالِها . فلِلْحُصولِ على بَطّارِيَّةٍ جافَّةٍ جُهدُها ٣٠ ڤُلطًا يَنْبَغي وَصْلُ ٢٠ خلِيَّةً كهربائِيَّةً علَى ٱلتوالي.

خَلِيَّة واحِدة ١٫٥ ڤُلط
خليَّتان مَوصُولتان على ٱلتوالي ٱلجُهد ٣ ڤُلط
٣ ڤُلط
خليَّتان مَوصُولتان على ٱلتوازي ٱلجُهْدُ ١٫٥ ڤُلط ، لكِنْ يتضاعفُ ٱلتيارُ تقريبًا
١٫٥ ڤُلط

بَطّارِيَّةُ مِصباح جَيْبٍ كَهْرَبائي ، جُهْدُها ٤٫٥ ڤُلط

بَطّارِيَّةُ راديو جُهْدُها ٩ ڤُلط

إلى ٱليسار

يُمكِنُ الحُصولُ علَى بطّارِيّاتٍ مُخْتَلِفَةِ ٱلجُهدِ ٱلكَهربائيِّ بِتَوصيلِ وَحَداتٍ من ٱلخَلايا ٱلجافَّةِ على التوالي ، فَلِلحصولِ على بَطّارِيَّةٍ جُهْدُها ٤٫٥ ڤُلط نَصِلُ ثَلاثَ خَلايا جافَّة ، أَمّا ٱلبطّارِيَّةُ ٱلتي جُهْدُها ٩ ڤُلط فَتَتأَلَّفُ من سِتٍّ من هذِه ٱلخَلايا .

وحينئذٍ يَنبَغي ٱستِبدالُ أُخرَى بِهَا. ٱلبَطّاريَّةُ مِن هذا ٱلنَّوعِ تُسَمَّى **خَلِيَّةً أَوَّلِيَّةً**. وٱلبطاريَّةُ ٱلجافَّةُ ٱلعاديَّةُ هي ذاتُ فَرْقِ جُهدٍ كَهربائيٍّ (أو قُلطيَّة) ثابتٍ مِقدارُه ٥ ، ١ قُلط ، وهذا كافٍ لِتَشغيلِ مِصباحِ جَيْبٍ كهربائيٍّ قَصيرِ ٱلمَدى. أمّا ٱلمِصباحُ ٱلأكبَرُ فيَحوي بَطّاريَّتَيْنِ ، واحِدةً **فَوْقَ ٱلأُخرى** ، وهٰذا يَزيدُ **ٱلقُلْطِيَّةَ (فَرْقَ ٱلجُهْدِ ٱلكَهْرَبائِيِّ) إلى ٣ قُلْط**.

وفي بَعْضِ ٱلبَطّاريّاتِ ٱلجافّةِ تَبْلُغُ ٱلقُلطيَّةُ أحيانًا ١٠ إلى ٢٠ قُلطًا ، والواقِعُ إنّ كُلَّ بَطاريَّةٍ من ٱلنَّوعِ ٱلعالي ٱلقُلْطِيَّةِ ما هيَ إلّا مَجموعةٌ مِنْ وَحَداتٍ منَ ٱلخلايا ٱلمَوصولةِ مَعًا.

هنالِكَ طَريقَتان لِوَصْلِ ٱلبطاريّاتِ ، أُولَاهُما أنْ تُوصَلَ ٱلبَطّاريَّتانِ طَرَفًا بِطَرَفٍ بحَيْثُ يَمَسُّ ٱلقُطْبُ ٱلنُّحاسيُّ ٱلمُوجَبُ لِواحِدةٍ قاعِدةَ ٱلغِلافِ ٱلخارَصينيِّ ٱلّتي هي ٱلقُطْبُ السالِبُ لِلأُخرَى ، وفي هذهِ ٱلحال تتضاعفُ ٱلقُلطيَّةُ ، ويُسَمّى هذا **ٱلوَصْلَ عَلى ٱلتّوالي**. أمّا إذا وُصِلَ ٱلطَّرفانِ ٱلنُّحاسيّانِ مَعًا ثُمَّ وُصِلَ ٱلغلافانِ مَعًا فٱلبطاريتانِ مَوصُولَتانِ **على ٱلتوازي**. وفي هذه ٱلحالِ يَبْقَى فَرْقُ ٱلجُهدِ ٱلكهربائيِّ ٥ ، ١ قُلط بَيْنَما يتضاعَفُ التيّارُ الكُلّيُّ ٱلمُتاحُ في دائرَتِها ٱلكهربائيَّةِ.

تُسْتَخْدَمُ ٱلبطاريّاتُ لِتَزْويدِ بَعْضِ ٱلأجهِزَةِ ٱلكَهربائيّةِ ٱلمَنزِليَّةِ بٱلقُدرةِ. فَلِلراديُو ٱلنَّقّال (راديُو الترانزِسْتُور) تُستَخْدَمُ بَطاريّةٌ او ٱثْنَتانِ على ٱلتَّوالي ، بَيْنَما في بَعضِ ٱلمُسَجِّلاتِ ٱلشريطيَّةِ ٱلنقّاليَّةِ تُوصَلُ ٱلبطاريّاتُ على ٱلتوازي لِتَدويرِ مُحَرِّكِ ٱلمُسَجِّلَة.

بَعضُ ٱلأدواتِ ٱلكهربائيَّةِ صَغيرٌ جِدًّا ولا يَحتاجُ إلّا إلى ٱلقَليلِ من ٱلقُدرةِ لِتَشْغيله. من هذه ٱلأَدواتِ مثلاً آلاتُ ٱلحلاقَةِ ومُعِيناتُ ٱلسَّمعِ وٱلسيّاراتُ ٱلدُّمَى ، فَهذِه يُمكِنُ تَشغيلُها بٱلبطّارياتِ ٱلصَّغيرة. أحيانًا يُسْتَخْدَمُ نَوعٌ آخَرُ من ٱلبَطّاريّاتِ لِتَشغيلِ مِثل هذه ٱلأَجْهِزَةِ ٱلصَّغيرة مِثلُ بَطّاريَّةِ ٱلزِّئبَق. وبَعْضُ أنواعِ هذِه ٱلبطاريّةِ يُمكِنُ إعادةُ شَحْنِه لِيُسْتَعْمَلَ مُجَدَّدًا ، وقد استُخْدِمَتْ هذه ٱلبطاريّةُ في تَشغيلِ فرْشاةِ الأسنانِ ٱلكَهربائيَّة. وهذه ٱلفِرشاةُ تُرَكَّبُ في مِقْبَضٍ هَزّازٍ يَحْوي ٱلبَطاريَّةَ ، وبَعْدَ ٱلاسْتِعمالِ يُثَبَّتُ المِقْبَضُ ٱلهَزّازُ في قاعِدةٍ خاصَّةٍ تُعيدُ شَحْنَ بَطّارِيَّتِه.

إلى أسفَل

يُشَغَّلُ مِصباحُ ٱلجَيْبِ ٱلكَهربائيُّ ٱلمُتَوسِّطُ القُدرةِ بِبَطّاريَّتَيْنِ مَوصُولَتَيْنِ على ٱلتوالي. تَضْغَطُ قاعِدَةُ بُصيلةِ ٱلمِصباحِ على ٱلطَّرَفِ ٱلنُّحاسيِّ ٱلمُوجَبِ لِبَطّاريةٍ بَيْنَما تُلامِسُ قاعِدةُ ٱلغِلافِ ٱلمَعْدِنيِّ لِلبَطّاريةِ الأخرى ، عبْرَ ٱلنابِضِ ، شَريحَةً نُحاسيَّةً تَمتَدُّ على جانِبِ ٱلمِصباحِ إلى المِفتاح – وهذا بِدَوْرِه يَصِلُها بِشَريحَةٍ نُحاسيَّةٍ أُخرى تُلامِسُ ٱلغِلافَ ٱلمَعْدِنيَّ لِلْبُصَيلةِ. في بَعْضِ ٱلمَصابيحِ يكونُ الجِسْمُ من ٱلمَعْدِنِ (لا مِنَ ٱلبلاستيك) فيَعْمَلُ الجِسْمُ حينئذٍ كأحَدِ المُوَصِّلَيْنِ.

إلى أقصى اليمين

هذه ٱلفِرشاةُ الكَهربائيَّةُ لا تُوصَلُ بأسلاكٍ إلى قابِسِ ٱلمَوردِ الكَهربائيِّ ، فهِيَ تُرَكَّبُ في مِقْبَضٍ هَزّازٍ يَحوي بَطّاريَّةً لِتَشغيلِها. وبَطّاريَّةُ ٱلهَزّازِ هي من ٱلنوعِ ٱلّذي يُعادُ شَحْنُه. وهذا يَتِمُّ بِتَثبيتِ ٱلمِقْبَضِ ٱلهَزّازِ بَعْدَ الاستِعمالِ في وَحْدَةِ شَحْنٍ خاصَّةٍ تُوصَلُ بٱلموردِ ٱلكهربائيِّ الرئيسيّ.

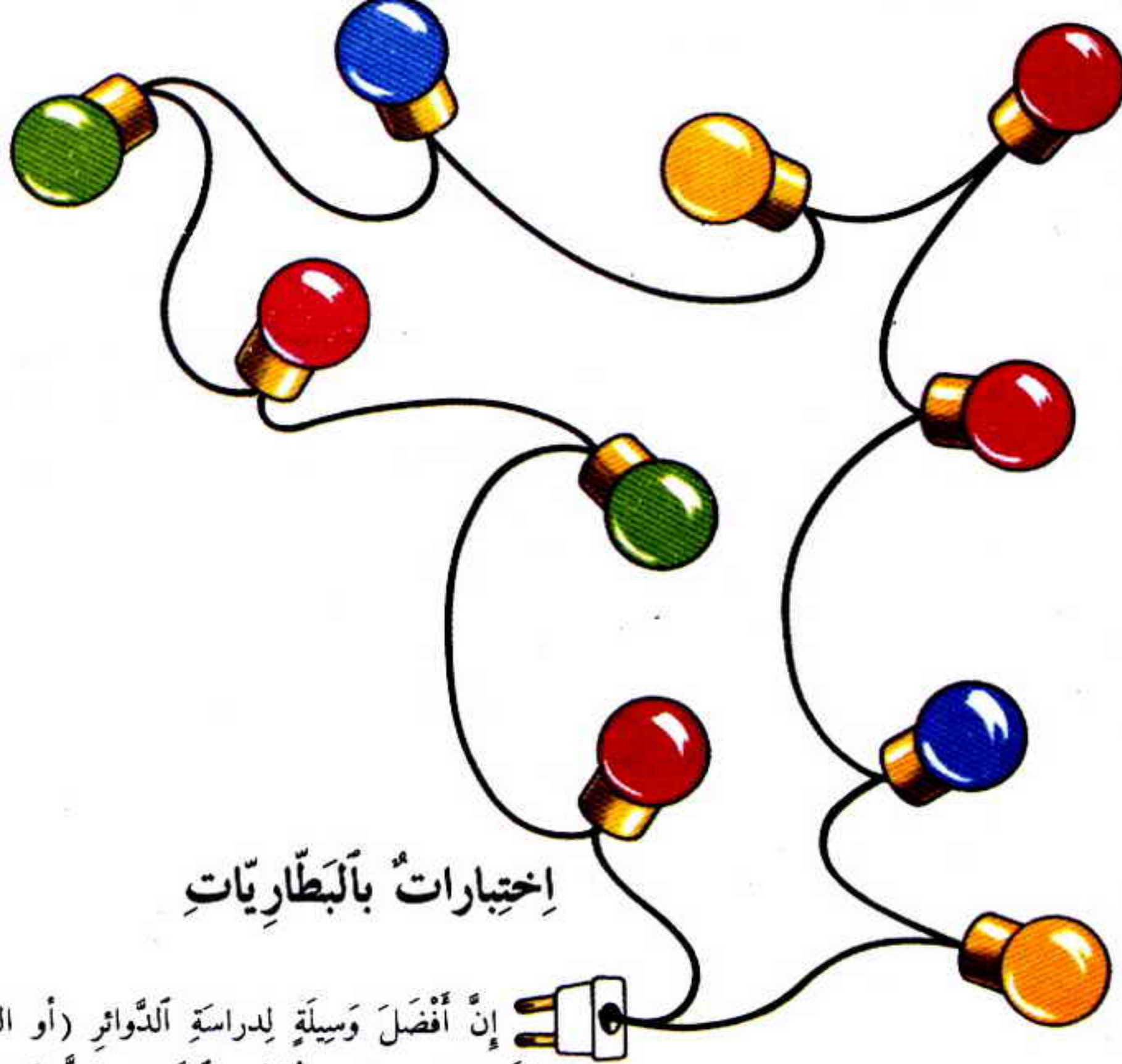
فِرشاةُ أسنان

مِقْبَضٌ هَزّاز

وَحْدَةُ شَحن

إلى مَوردِ ٱلكَهرباءِ الرئيسي

إلى ٱليمين

راديُو ترانزِسْتُور نَقّاليّ. تَعْمَلُ ٱلترانزِستوراتُ على قُلطيَّةٍ خفيضةٍ ، لِذلكَ يُمكِنُ تَشغيلُها بِبَطاريَّةٍ صَغيرةٍ أو ٱثْنَتَيْنِ. أما ٱلرّاديُواتُ ٱلصِّماميَّةُ فَتتَطَلَّبُ قُلطيَّةً عالية تبلُغ نَحوَ ١٢٠ قُلطًا.

اِختِبارات بالبطّاريّات

إنّ أفضلَ وسيلةٍ لدراسةِ الدّوائرِ (أو الدّاراتِ) الكهربائيةِ هي توصيلُ بعضِ الدّاراتِ ببطّاريّاتٍ وإجراءُ تجاربَ عليْها.

اِبْدأْ بتوصيلِ دائرةٍ كهربائيّةٍ بسيطةٍ من بطّاريّةٍ جهْدُها ٥ ، ٤ فُلْط ومفتاحٍ كهربائي وبُصَيْلةِ مِصباحٍ صَغيرةٍ مُثبّتةٍ في حامِلِها (أو دَواتِها). إنَّ الدّائرةَ الكهربائيةَ هيَ بِبساطةٍ مَسارُ التيّارِ منَ البطّاريّةِ وإليْها.

يُمكِنُكَ صُنْعُ مِفتاحٍ كهربائيٍّ بسيطٍ من قِطعةِ خَشَبٍ بِغَرْزِ دَبُّوسَيْ رَسْمٍ في طَرَفَيْها. عَدِّلْ جانبًا مِنْ قامِطةِ وَرَقٍ سِلْكيّةٍ على آستِقامَتِه ثُمَّ ثَبِّتْ طَرَفَ القامِطةِ العُرْوِيَّ تَحْتَ أَحَدِ الدّبوسَيْنِ جاعِلاً الطَّرَفَ المُعدَّلَ منَ السِّلكِ يَمْتَدُّ فوقَ الدبُّوسِ الآخَرِ دُونَ أنْ يَمَسَّهُ. لإغلاقِ الدائرةِ اضغطْ هذا الطَّرفَ لِيُلامِسَ الدَّبُّوسَ تَحْتَهُ.

أضِفْ إلى الدّائرةِ الّتي أعدَدْتَها بُصَيْلَةَ مِصْباحٍ أُخْرى مع دَواتِها بحَيْثُ يَمُرُّ التيّارُ أوّلاً في بُصَيْلَةٍ ثُمَّ في الأُخرى. البُصَيلتانِ الآنَ مَوْصُولتانِ **على التوالي**. اضْغَطِ المِفتاحَ ولاحِظْ نَوعيَّةَ تَوهُّجِ البُصَيْلَتَيْنِ. إنَّها لا تَتَوهَّجانِ بالشِّدَّةِ التي تَوهَّجَتْ بها البُصَيْلَةُ الأولى عِنْدَما كانَت وَحْدَها في الدّارة. والسَّبَبُ بَسيطٌ، فالبُصَيْلَتانِ الآنَ تَقْتَسِمانِ الفُلطيَّةَ (٥ ، ٤ فُلط) بَيْنَهما، فَلا تَحْصُلُ أيٌّ مِنْهُما علَى الفُلطيَّةِ (فرق الجُهد الكهربائي) الكاملةِ الّتي صُمِّمتِ البُصَيْلَةُ لِتَعْمَلَ عَلَيْها.

اِرفَعِ البُصَيْلَتَيْنِ من دَواتَيْها واسْتَبْدِلْ بِهِما بُصَيْلَتَيْنِ أُخْرَيَيْنِ مُصَمَّمَتَيْنِ لِلْعَمَلِ على فُلطيَّةٍ أخفضَ - جَرِّبْ بُصَيْلَتَيْنِ مُصَمَّمتينِ لِجُهْدِ ٥ ، ٢ فُلْط. لاحِظْ شِدَّةَ تَوهُّجِ البُصَيْلَتَيْنِ في هذه الحالَة. إنَّ كُلاًّ من البُصَيْلَتَيْنِ في هذا الوضْعِ تَحْصُلُ على ما يُقارِبُ الفُلطيَّةَ الكامِلةَ اللازمةَ لتشغيلِها.

فَوق

أضواءُ شَجرةِ الميلادِ. في هذا السِّلسلةِ عَشْرُ بُصيلاتٍ مُلوّنة موصولةٌ على التّوالي، فإذا تعطّلتْ واحدةٌ منها تُفْتَحُ (تُقْطَعُ) الدّائرةُ وتنْطفئُ الأضواءُ جميعُها. كلُّ بُصيلةٍ في السِّلسلةِ مُصمّمةٌ للعَمَلِ على فَرْقِ جُهدٍ مِقدارُه ٢٤ فُلطًا.

إلى اليَسار

لِصُنعِ نَموذجٍ لأنوارِ إشاراتِ المُرور وَصِّلْ ٣ بُصيلاتٍ صَغيرةٍ في دُوِيِّها إلى مِفتاحٍ ثُلاثيِّ المَسالِك تَصْنَعُهُ من أربعةِ دَبابيسِ رَسْمٍ وقامِطةِ وَرَقٍ سِلكيّة. وَصِّلْ جَوانِبَ البُصَيلاتِ مَعًا إلى أحَدِ قُطْبَي البَطاريّة، ثُمَّ وصِّلْ قُطبَ البطاريّةِ الآخَرَ إلى المِفتاحِ الكَهربائيّ. إن دَواةَ كُلِّ مِصباحٍ مُتَّصِلَةٌ على آنفِراد بأحَدِ الدّبابيسِ بحَيْثُ يُمكِنُ إنارتُها وَحْدَها عِنْدَ مَسِّ سِلْكِ القامِطَةِ لدبُّوسِها. إن البصيلاتِ في هذه الحالةِ مَوصولةٌ على التوازي.

إلى أَقْصَى اليَسار

لِصُنعِ نَموذجٍ لِشَبَكَةِ إنارةِ الشّوارع، ثَبِّتْ صَفًّا من الأعمدةِ الخَشبيّةِ على قاعدةٍ مُناسِبة. عَلِّقْ بُصَيْلَةً (ودَواتَها) مِن كلِّ عَمُودٍ وأوصِلْها بالدائرةِ الكَهربائيّةِ على التوازي، بحَيْثُ إذا تعطّلَتْ إحْدَى البُصَيْلاتِ تَبْقَى البُصَيْلاتُ الأُخرى مُضاءة. ثُمَّ وَصِّلِ الشّبكةَ بِبطاريّةٍ عَبْرَ مِفتاحٍ كَهربائيّ.

أَعِدِ البُصَيْلَتَيْنِ السابِقَتَيْنِ إلى دَواتَيْهِما مَوصُولَتَيْنِ **على التوازي** في الدائرةِ نَفْسِها ولاحِظْ أن البُصَيْلَتَيْنِ شَديدتا التوهُّجِ في هذِهِ المَرَّةِ معَ أنَّ البطاريَةَ في الدائرةِ لَم تَتَغَيَّر. إنَّ كُلاً من البطاريَتَيْنِ الآنَ تَحْصُلُ على الفُلطيَّةِ الكامِلة (٥ ، ٤ فُلط) اللَّازمةِ لتشغيلها ولذلِكَ تَعْمَلُ بأَداءٍ جيِّدٍ. في هذا النَّوع من التوصيلِ يتضاعَفُ الشُّغْلُ الذي تبذُلُهُ البَطاريَّةُ فلا تَدُومُ طويلاً.

تُوصَل مَصابيحُ شجَرَةِ الميلادِ الصغيرةُ على التَّوالي، ويكُونُ مَجْموعُ الفُلْطِيَّةِ لِكُلِّ البُصَيْلاتِ مُساوِيًا لِفُلطِيَّةِ المَوْرِدِ الكهربائيِّ الرئيسيِّ الذي يُغَذِّيها. فحَيْثُ فُلْطِيَّةُ المَورِدِ ٢٤٠ فُلطًا وعدَدُ بُصيلاتِ السِّلسلةِ عَشَرٌ تكُونُ الفلطيَّةُ اللازمةُ لِتَشْغيلِ البُصَيْلَةِ الواحدةِ ٢٤ فُلطًا.

وَحَيْثُ يَلْزَمُ أَكْثَرُ مِنْ بُصَيْلَةٍ كَهربائيَّةٍ لإنارةِ غُرْفَةٍ، تُوصَلُ البُصَيْلاتُ على التَّوازي، وبذلِكَ يُمكِنُ إضاءَةُ بُصَيْلَتَيْنِ في الوَقْتِ نَفْسِه دُونَ أن يَقِلَّ توهُّجُ إحْداهُما عن توهُّجِ سائرِ أَضْواءِ المَنْزِلِ.

يُمكِنُكَ وَضْعُ الدَّوائرِ الكَهْربائيَّةِ الَّتي تَصْنَعُها مَوضِعَ التطبيقِ والاختِبارِ باسْتِخدامِها في صُنْعِ نَماذِجَ وأَلْعابٍ مُفيدَةٍ. مَثَلاً يُمكِنُكَ صُنْعُ مِغْنَطيسٍ كَهربائيٍّ تَجْذِبُ بِه الأشياءَ الحديديَّةَ، أو قَدْ تُجَهِّزُ بَيْتَ دُمْيَةٍ أَو نَمُوذَجَ قَرْيَةٍ بِشَبَكَةِ إنارَةٍ، أَو قَدْ تُعِدُّ سيمافُور إشارَةٍ لِقطارٍ صَغيرٍ.

إلى اليمين

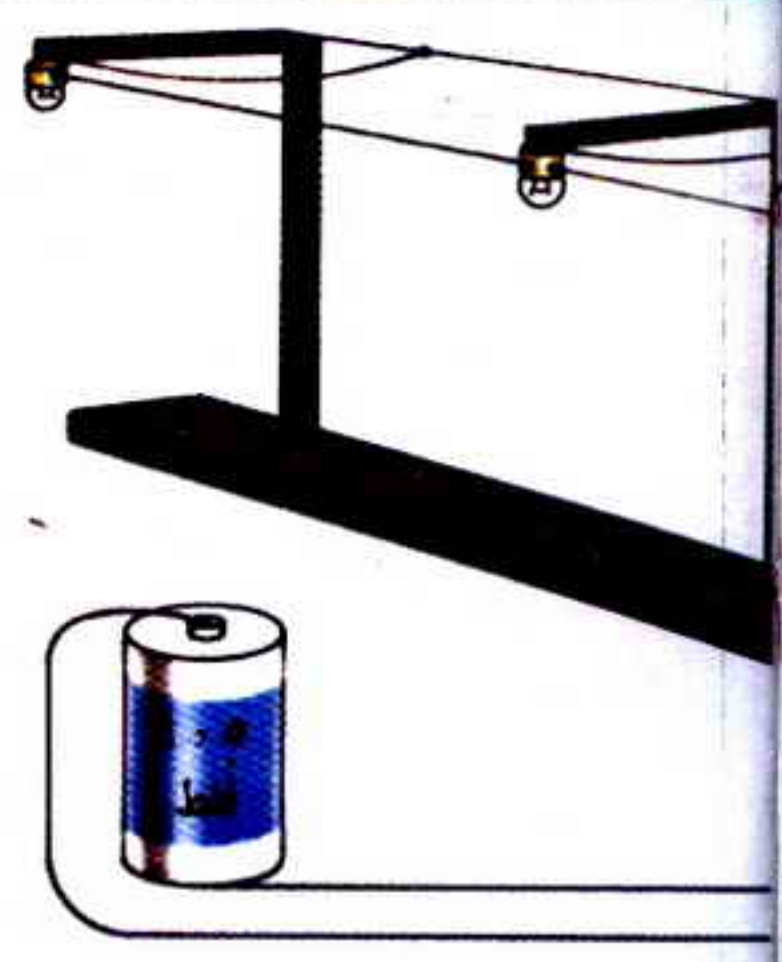
هاتانِ البُصَيلتانِ مَوصُولَتانِ على التَوالي. وهُما بِهذا الوَضْعِ تَقْتَسِمانِ الفُلْطِيَّةَ بَيْنَهُما.

إلى اليَمين

هاتانِ البُصَيْلَتانِ مَوصُولَتانِ علَى التَّوازي. وفي هذا الوَضْعِ تَحْصُلُ كُلٌّ مِنْهُما على الفُلطيَّةِ الكامِلَةِ من البَطَّاريَّةِ، وتَعْمَلُ بأَداءٍ كامِلٍ. وهكَذا يتضاعَفُ الشُّغْلُ الذي تبذُلُه البطاريَّةُ فتَدُومُ نِصْفَ المُدَّةِ الَّتي تَدُومُها لَو كانَتِ البُصَيْلَتانِ مَوصُولَتَيْنِ على التوالي.

إلى اليمين

لِصُنْعِ نَمُوذَجِ سيمافُورِ إشارةٍ لِسِكَّةِ الحَديدِ يلْزَمُكَ سِلْكٌ نُحاسِيٌّ مَعْزُولٌ (يُفَضَّلُ النوعُ الذي رَقْمُه العِياريّ ٣٦). لُفَّ حوالَى ١٠٠٠ لَفَّةٍ من هذا السِّلْكِ حولَ أُسطوانَةِ قَلَمِ حِبْرٍ جافٍّ ورَكِّزِ اللَّفَّ في مَدَى ٣ سَنْتيمترات، وبذلكَ تَحْصُلُ على جُزءٍ من المِغنَطيسِ الكهربائيِّ الذي سَيُشَغِّلُ السَّمافُورَ. ركِّبْ ذِراعَ إشارَةِ السَّمافورِ على عَمُودِها في قاعِدَةٍ خَشَبيَّةٍ مُناسِبة. وثَبِّتْ ذِراعَ الإشارةِ بحَيْثُ تتحَرَّكُ بِسُهولَةٍ إلى أعلى وإلى أسْفَلَ. اَلْصِقِ المِلَفَّ بالغِراءِ عَمُودِيًّا في القاعدةِ الخَشبيَّةِ قريبًا من عَمُودِ الإشارةِ القائم. علِّقْ مِسمارًا بِخَيْطٍ من طُولٍ مناسِبٍ مُثَبَّتٍ بِمِسمارٍ في طَرَفِ ذِراعِ الإشارةِ بحَيْثُ يتحَرَّكُ المِسْمارُ صُعُودًا وهُبوطًا داخِلَ المِلَفِّ عندَ حرَكَةِ الذِّراعِ إلى أسْفَلَ وإلى أعلى. وَصِّلْ طَرَفَي سِلْكِ المِلَفِّ الى مِسْمارَيْ رَبْطٍ في القاعِدةِ الخَشَبيَّةِ ثُمَّ أَوصِلِ المِسْمارَيْنِ بمفتاحٍ وبَطَّاريةٍ جُهْدُها ٥ ، ٤ فُلط.

عِنْدَ إغلاقِ الدائرةِ يَسْري التيارُ فيَجْذِبُ المِغنطيسُ الكَهربائي المِسمارَ إلى أسْفَلَ ويَرْفَعُ ذِراعَ الإشارةِ، وعند فَتْحِ الدائرةِ يَعُودُ ذِراعُ الإشارةِ إلى وَضْعِه السُّفْلِيِّ بتأثيرِ ثِقَلِه.

إلى اليسار

في خليَّة فُولتا يكونُ إلكترودُ الخارصين سالبًا ويُسمَّى الكاثُود (المَهْبط). ويكونُ إلكترودُ النُّحاس مُوجبًا ويُسمَّى الأنُود (المَصْعَد).

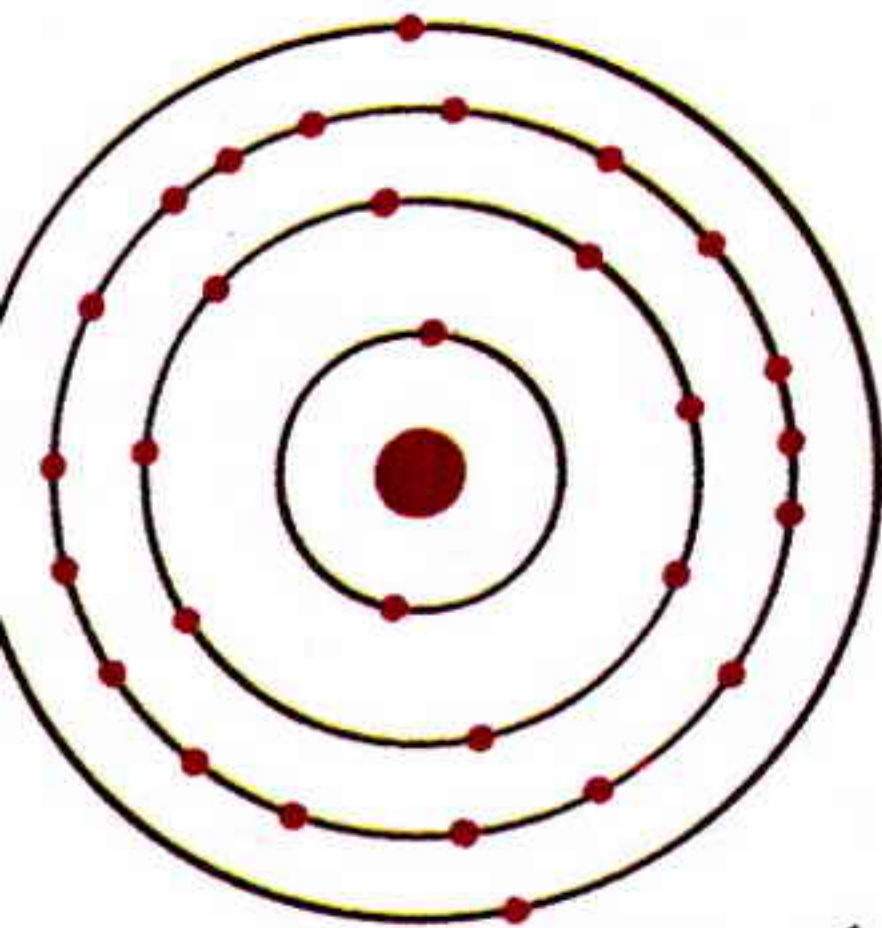
نُحاس

خارَصين (زِنك)

إلى أقصى اليَسار

يُبيِّنُ الشَّكلُ كيفيَّةَ تكوُّنِ الأيونات المُوجبَة من الذرَّات. فذرَّة الهَيْدرُوجين (يد) مُتعادِلةٌ لاحتوائها على بُروتونٍ واحد وإلكترونٍ واحد. فاذا فقدَتِ الإلكترون يَبقى البروتونُ وَحدَهُ مُكوِّنًا أيونَ الهَيْدروجين (يد$^+$) ذا الشُّحنةِ المُوجبَة.

أمَّا ذرَّةُ الخارصين فتحوي ٣٠ بُروتونًا و ٣٠ إلكترونًا وهي مُتعادِلةٌ بذلك ، فإذا ما فَقدَتْ إلكترونًا واحِدًا تُصبحُ شِحنَةُ الذرَّةِ كمجموعٍ ، مُوجبَةً مكوِّنَةً أيونَ خارصين (خ$^+$).

ذَرَّةُ الهيدروجين (يد)
بروتون واحِد
وإلكترون واحِد

ذَرَّةُ الخارصين (خ)
٣٠ بروتُونًا و٣٠ إلكترونًا

الخلايا والتَّحليلُ الكَهْربائيُّ

الخَلايا أو البطَّارياتُ الجافَّةُ المُستَعمَلةُ في مَصابيحِ الجَيْبِ الكَهربائيَّة هيَ من نَوعِ البَطَّارياتِ الأوَّليَّةِ التي تتولَّدُ فِيها الكَهرباءُ بالتغيُّراتِ الكيماويَّةِ. وكانت **خليَّةُ فُولْتا** ، المنْسوبَةُ إلى مُخترِعِها الكُونْت ألِسَّانْدرو فُولتا ، أوَّلَ ما ظهَرَ من هذهِ البَطَّاريات. تتألَّفُ خليَّةُ فُولتا من قَضيبِ خارَصين (زِنْك) وقَضيبِ نُحاسٍ مُغَطَّسَيْنِ في مَحْلُولِ حامِضِ الكِبْريتيك. ويُسمَّى المَحلولُ في الخَليَّةِ **الإلكْتروليت** (المُنْحلَّ بالكَهرباء) والقضيبانِ **إلكْترودَيْن** (أو قُطْبَيْن). وحينَ نُوصِّلُ الإلكترودَيْنِ بسِلْكٍ يَسْري تيَّارٌ كَهربائيٌّ فيه.

ويقتَضينا فَهْمُ كيفيَّةِ حُدوثِ ذلكَ الرُّجوعَ إلى مَفْهومِ تَركيبِ الذرَّاتِ والجُزيئات. فذَرَّةُ الخارَصين (الزِّنك) تَحوي نَواةً مُؤلَّفَةً من بُروتوناتٍ ونيُوترونات ، وحَيْثُ إنَّ شِحْنَةَ البروتُوناتِ مُوجبَةٌ فإنَّ النواةَ مُوجبَةُ الشِّحنَةِ. ويدُورُ حَوْلَ النواةِ عَدَدٌ منَ الإلكترونات السَّالِبَةِ الشِّحنَةِ مُساوٍ لِعدَدِ البروتونات وهكذا تكونُ شِحنَةُ الذرَّة كَمجموعٍ ، مُتعادِلَةً.

وإذا فَقدَتْ ذرَّةُ الخارَصينِ إلكْترونًا فإنَّها حينئذٍ تَحوي بُروتُوناتٍ أكثَرَ وتُصبحُ بالتَّالي مُوجبَةَ الشِّحنَةِ الكهربائيَّة. وهذهِ الذرَّاتُ المَشحونَةُ تُسمَّى **أيونات**.

إلى اليَسار

يُمكِنُكَ صُنْعُ خَليَّةٍ كَهْرَبائيَّة بَسيطة من لَيمونَةٍ حامِضَةٍ وشَريحتَي نُحاس وخارَصين. رَضْرِضِ اللَّيمونَةَ بدَحْرَجَتِها مع الضَّغطِ لِتَجميعِ العُصارَةِ بِداخِلِها. اغْرِزِ الشريحتَيْنِ مُتَباعِدَتَيْنِ قليلاً في اللَّيمُونَةِ دُونَ أن تَتَماسَّا بداخِلِها. اِلمِسِ الشَّريحتَيْنِ بِلِسانِكَ وستَشعُرُ بِنَغْشانٍ قارِصٍ بِفِعْلِ التيَّارِ الَّذي يَسري من شَريحةٍ إلى أُخرى عَبْرَ لِسانِكَ.

بَطَّارِيَّة

كاثُود (مَهْبط)

أنود (مَصْعَد)

إلى اليَسار

في الخَليَّةِ الفُولْتائيَّةِ يتَولَّدُ تيَّارٌ كَهْرَبائيٌّ منَ التَّفاعُلِ الكيماويِّ. كَذلكَ إذا أُمِرَّ تيَّارٌ كَهربائيٌّ عَبْرَ إلكتروليتٍ (مَحلولٍ يَنْحلُّ بالكهرباء) فإنَّه يُحْدِثُ تفاعُلاً كيماويًّا ، وهذا التفاعُلُ يُدعَى التَّحليلَ الكَهربائيَّ. يُبيِّنُ الرَّسمُ تأثيرَ إمرارِ تيَّارٍ كَهربائيٍّ من بَطَّاريَةٍ عَبْرَ مَحلولِ كِبريتاتِ النُّحاس. يتَغطَّى الكاثُودُ بِطَبَقَةٍ رَقيقةٍ منَ النُّحاسِ ، وهذا مَثَلٌ على الطِّلاءِ بالكَهْرباء. أمَّا في الأنُودِ فيُلاحَظُ انطلاقُ غازٍ هُوَ الأكسيجين.

أيون ٱلهيدروجين
(يد +)
بروتون واحد
ولا إلكترونات

أيون ٱلخارصين (خ +)
٣٠ بروتونًا
و ٢٩ إلكترونًا

أمّا إذا ٱكتسبت ذرّةٌ إلكترونًا فإنّها حينئذٍ تحوي إلكتروناتٍ أكثرَ وتُصبحُ بالتالي سالبةَ ٱلشّحنةِ ٱلكهربائيّةِ، أي تُصبحُ أيونًا سالبًا. وهذه الأيوناتُ هي ٱلتي تُولِّدُ ٱلتيّارَ ٱلكهربائيَّ في ٱلبطّاريّاتِ.

والآنَ لنعُدْ إلى قضيبَي ٱلخارصينِ وٱلنُّحاسِ في محلولِ حامضِ ٱلكبريتيك. إن قضيبَ ٱلخارصينِ يتألّفُ من ذرّاتِ خارصينٍ عديدةٍ، وبعضُ هذه ٱلذرّاتِ يتحوّلُ إلى أيوناتٍ موجبةٍ تنحلُّ في ٱلمحلولِ تاركةً إلكتروناتِها على قضيبِ ٱلخارصين. وهكذا تتكدّسُ الشّحناتُ ٱلسّالبةُ على هذا ٱلقطبِ بينما تحدثُ عمليّةٌ مختلفةٌ في قضيبِ ٱلنُّحاسِ. فأيوناتُ ٱلهيدروجينِ ٱلنّاتجةُ عن تحلُّلِ حامضِ ٱلكبريتيك في ٱلمحلولِ تتّحدُ معَ إلكتروناتٍ من قضيبِ ٱلنُّحاسِ وتُصبحُ ذرّاتِ هيدروجين. وهكذا تتجمّعُ فقاقيعُ ٱلهيدروجينِ على قضيبِ ٱلنُّحاسِ ٱلّذي يكتسبُ شحنةً موجبةً لفقدانِهِ ٱلإلكتروناتِ. وٱلنّتيجةُ أنَّ قضيبَ ٱلخارصينِ ٱلآنَ يحوي إلكتروناتٍ أكثرَ منَ ٱلبروتونات، وقضيبَ ٱلنُّحاسِ يحوي إلكتروناتٍ أقلَّ من ٱلبروتونات – فإذا ما وُصِلا بموصّلٍ خارجَ ٱلمحلولِ تسري ٱلإلكتروناتُ منَ ٱلخارصينِ إلى ٱلنُّحاسِ عبرَهُ، أي يسري تيّارٌ كهربائيٌّ بينهما.

في هذه ٱلخليّةِ ينحلُّ قضيبُ ٱلخارصينِ في حامضِ ٱلكبريتيك ليُعطيَ أيوناتِ ٱلخارصين. وحامضُ ٱلكبريتيك (وهو مركّبٌ يُسمّى أحيانًا كبريتاتِ ٱلهيدروجين) يفقدُ بعضًا من هيدروجينِهِ ٱلذي يتحوّلُ إلى هيدروجين غازيٍّ. يعني أنَّ ٱلتيّارَ ٱلكهربائيَّ قد تولَّدَ من ٱلتفاعُلِ ٱلكيماويِّ ٱلذي تحوّل فيه ٱلخارصينُ إلى كبريتاتِ ٱلخارصين وهيدروجينُ ٱلحامضِ الى هيدروجينٍ غازيٍّ. فٱلنُّحاسُ لم يطرأْ عليهِ تغييرٌ في ٱلتفاعُلِ ٱلمولِّدِ للكهرباء، لكنّهُ ضروريٌّ في ٱلعمليّةِ لإعطاءِ ٱلإلكتروناتِ إلى أيوناتِ ٱلهيدروجين. قضيبُ ٱلنُّحاسِ في ٱلخليّةِ ٱلفلتائيّةِ هو ٱلقطبُ ٱلموجبُ وقضيبُ ٱلخارصينِ هو ٱلقطبُ ٱلسّالبُ فيها.

فوق

يُستخدَمُ ٱلتّحليلُ ٱلكهربائيُّ صناعيًّا في تحضيرِ بعضِ ٱلعناصرِ من خاماتِها، وكذلكَ في طلاءِ ٱلأجسامِ ٱلمعدنيّةِ بمعدنٍ فلزّيٍّ آخرَ. وفي ٱلصّورةِ أعلاهُ بعضُ الأجسامِ ٱلمطليّةُ بهذهِ الطّريقةِ. في عمليّةِ ٱلطّلاءِ ٱلكهربائيِّ يُعلّقُ ٱلجسمُ ٱلمرادُ طليُهُ في مغطسِ الإلكتروليت كقطبٍ سالبٍ، ويُجعَلُ القطبُ الموجبُ قطعةَ معدنٍ منَ ٱلفلزِّ المرادِ الطّلاءُ بهِ؛ أمّا سائلُ المغطسِ فيكونُ أحدَ أملاحِ ٱلفلزِّ الذّوّابةِ. وتتمُّ عمليّةُ الطّلاءِ بإمرارِ التّيّارِ الكهربائيِّ المناسبِ لفترةٍ كافيةٍ. وتُطلى الأجسامُ عادةً بمادّةٍ ثمينةٍ كالذّهبِ أوِ الفضّةِ للزّينةِ، أو بمادّةٍ مقاومةٍ للصّدإ كالكروم لحفظِها، كما هيَ ٱلحالُ في مصدِّ السّيّارةِ الحديديِّ.

إلى اليسار

إلكترودا بطّارية السيّارة هما من صفائح الرّصاص، والإلكتروليت حامضُ كبريتيك مخفّف. قبلَ شحنِ البطّاريّة تكونُ الصفيحتان مغطّاتين بطبقةٍ رقيقةٍ من مركّبٍ أسمرَ هو كبريتاتُ الرّصاص. وعندَ إمرارِ تيّارِ الشّحنِ عبْرَ القُطْبِ الموجَبِ فحامِض الكبريتيك فالقُطبِ السالبِ للبطّاريّة تحصُلُ تفاعلاتٌ كيماويّة، فتتحوّلُ كبريتاتُ الرّصاص على القطبِ الموجبِ إلى فوقِ أكسيدِ الرّصاص، بينَما تتحوّلُ كبريتاتُ الرّصاص على القُطبِ السّالبِ إلى رَصاصٍ ويزدادُ تركيزُ حامضِ الكبريتيك في البطّاريّة.

إلى أقصى اليسار

عندَ تفريغِ البطّاريّة تحصُلُ تفاعلاتٌ عكسيّة، يستمرُّ الرّصاصُ على الصفيحةِ السّالبةِ متحوّلًا إلى كبريتاتِ الرّصاص وعلى الصّفيحةِ الموجبةِ يتحوّلُ فوق أكسيدِ الرّصاص إلى كبريتاتِ الرّصاص وينخفضُ تركيزُ حامضِ الكبريتيك. وتنبغي الملاحظةُ أنّ اتّجاهَ التيّارِ في التّفريغِ هو عكسُ اتّجاهِ التيّارِ في أثناءِ الشّحنِ.

بطّاريّةُ السيّارةِ (المِركَم)

في البطاريّةِ الجافّةِ العاديّةِ تُستهلَكُ الموادُّ الكيماويّةُ بعدَ حينٍ، فينعدِمُ تيّارُ البطّاريّةِ ويُستغنى عنها. وهذا النّوعُ من البطّارياتِ يُسمّى **بطّاريّاتٍ أوّليّةً**. هذه البطّاريّاتُ عاليةُ التّكلِفةِ ولا يُمكنُ استخدامُها لتوليدِ تيّاراتٍ قويّةٍ. لذا كانَ لا بُدَّ منْ تطويرِ بطاريّةٍ تستطيعُ تخزينَ الطاقةِ الكهربائيّةِ إذا ما شُحِنَتْ بها، بحيثُ يُمكنُ سحبُ هذه الطّاقةِ فيما بعْدُ كتيّارٍ كهربائيٍّ. وهذا النّوعُ منَ البطّاريّاتِ يُسمّى **بطّاريّةً ثانويّةً** أو **مِركَمًا** ومنْهُ بطّاريّةُ السيّارةِ.

يُصْنَعُ قُطبا المِركَمِ الرّصاصيِّ البسيطِ من صفيحتَيْ رَصاصٍ مُغطّستَيْنِ في محْلولِ حامضِ الكبريتيك. وعِنْدَ إمْرارِ تيّارٍ كهربائيٍّ عبْرَ الصّفيحتَيْنِ تحدُثُ تغيُّراتٌ كيماويّةٌ ويزدادُ تركيزُ الحامضِ ويُصْبِحُ بإمْكانِ البطّاريّةِ أنْ تُعطيَ تيّارًا كهربائيًّا، فنَقُولُ إنَّ البطّاريّةَ قدْ **شُحِنَتْ**.

بعْدَ الشّحْنِ يُمكِنُ وَصْلُ البطّاريّةِ بدائرةٍ كهربائيّةٍ كبُصَيْلةِ مِصباحٍ مثلًا، فيسري تيّارٌ حينئذٍ من الأنودِ (القُطبِ الموجَبِ) إلى الكاثود (القُطبِ السّالِبِ)، وتحصُلُ تغييراتٌ كيماويّةٌ مُعاكسةٌ لتِلْكَ الّتي تجري أثناءَ الشّحْنِ. لكِنَّ الموادَّ الكيماويّةَ لا تُستَهْلَكُ فيُمكِنُ إعادةُ عمليّةِ الشّحنِ تكرارًا. وعِنْدَما تُعطي البطّاريّةُ تيّارًا نقُولُ إنّها في طَورِ **التّفريغ**.

المِركَمُ إذَنْ لا يُوَلِّدُ تيّارًا كهربائيًّا بالطّريقةِ الّتي تعمَلُ بها البطّاريّاتُ الجافّةُ. إنّه يختزِنُها فقطْ، ويَنْبَغي شحْنُهُ بالكهرباءِ قبْلَ إمكانيّةِ سحْبِ أيِّ تيّارٍ منْه. وكِفايةُ البطّاريّةِ هي نِسبَةُ ما تُعطيهِ من طاقةٍ كهربائيّةٍ إلى ما تُشحَنُ هيَ بهِ من الطّاقةِ الكهربائيّة.

تُستَخْدَمُ البطّاريّةُ في سيّارةِ البنْزينِ العاديّةِ لتَوْليدِ الشّرارةِ الكهربائيّة لِبَدْءِ إدارةِ المُحرِّكِ، وتُزوِّدُ مصابيحَ السيّارةِ الأماميّةَ ومؤشّراتِها ومِرْوَحةَ المُسخِّنِ فيها ومسّاحتَيِ الزُّجاجِ الأماميِّ والنّفيرَ (الزُّمّور) بالتيّارِ الكهربائيِّ. وتُشحَنُ البطّاريّةُ باستِمرارٍ من مُولِّدٍ كهربائي (دينامو) يُديرُه مُحرِّكُ السيّارةِ أو بواسِطَةِ شاحِنِ بطّاريّات.

وهُنالِكَ مَزيدٌ منَ الاهتِمامِ حاليًّا بتلَوُّثِ الهواءِ الّذي نَستَنْشِقُه والّذي تتسبّبُ بِهِ كثرةُ السيّاراتِ ولاسيّما الشّاحِناتِ على الطُّرُقِ. فالغازاتُ المُنْبَعِثةُ من عادِمِ السيّارةِ تُضِرُّ بالصّحّةِ.

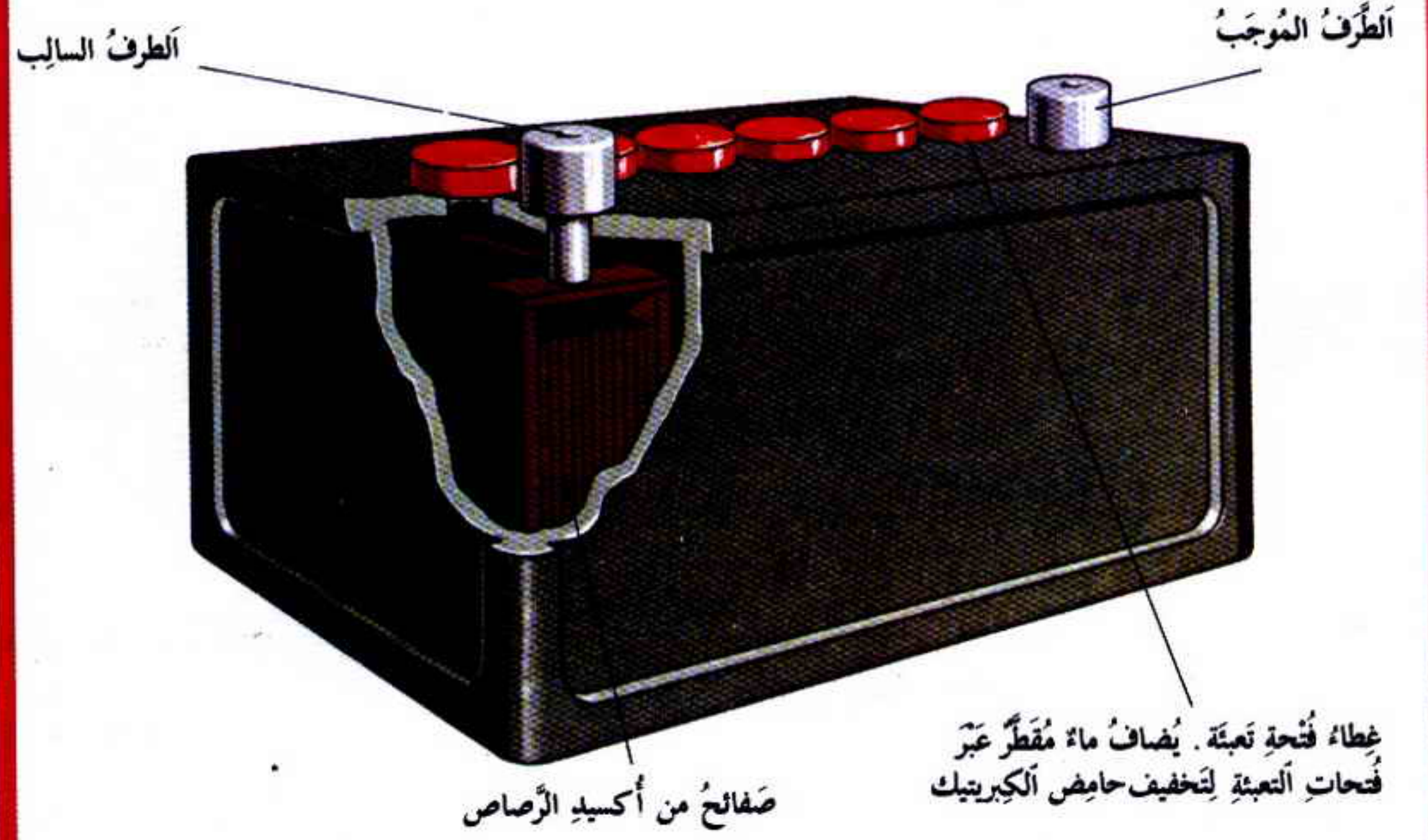
إلى أسفَل

باستطاعةِ كلِّ زوجٍ منْ صفائحِ المِركَمِ توليدُ جُهْدٍ مِقدارُه فُلطان (٢ فُلط). وفي مُعظَمِ بطاريّاتِ السيّاراتِ تتألّفُ البطاريّةُ من ٦ أزواجٍ منَ الصّفائحِ، يعني أنَّ البطاريّةَ هيَ في الواقعِ ٦ خلايا موصولةٍ على التوالي وباستطاعتِها توليدُ فَرْقِ جُهْدٍ كهربائيٍّ مِقدارُه ١٢ فُلطًا.

ٱلطَّرَفُ المُوجَبُ

ٱلطرفُ السالِب

غِطاءُ فُتْحةِ تعبئة. يُضافُ ماءٌ مُقَطَّرٌ عبْرَ فُتحاتِ ٱلتعبئةِ لِتخفيفِ حامِضِ ٱلكِبريتيك

صَفائِحُ من أُكسيدِ الرَّصاص

إلى ٱليمين

رَسْمٌ مَقْطُوعٌ لِبَطاريَّةِ سيَّارةٍ (مِركَم). وتُشاهَدُ مَجموعَةُ ٱلصفائِحِ الرَّصاصيَّةِ مَغمورةً في ٱلإِلِكتروليت ٱلذي هُو حامِضُ الكِبريتيك. وفي جانِبَي ٱلبَطاريَّةِ يُوجَدُ طَرَفا ٱلتوصيلِ ٱللذانِ تُوصَلُ بِهِا أَسلاكُ ٱلشَّحْنِ أو التفريغ.

أمَّا ٱلسيَّارةُ ٱلتي تَعْمَلُ بمُحَرِّكٍ تَمُدُّهُ بالطَّاقَةِ بَطَّاريَاتٌ كَهْرَبائيَّةٌ تُشحَنُ لَيْلِيًّا فَلا تُحْدِثُ تَلَوُّثًا. فلا وَقودَ يُحرَقُ ولا غَازاتٍ مُضِرَّةٌ تُلَوِّثُ ٱلجَوَّ، بل بَطَّارِيَاتٌ تُشحنُ وتُفرَّغُ. وهذِهِ ٱلسيَّاراتُ الكهربائيَّةُ لا تَزالُ قَيْدَ ٱلٱختِبار، ويُحاوِلُ كَثيرٌ من صانِعِي ٱلسيَّاراتِ تَطويرَها لِتُسْتَخْدَمَ في ٱلمُدُن. وٱلمُشْكِلَةُ ٱلرئيسيَّةُ تَكْمُنُ في تَطويرِ بَطَّارياتٍ عالِيَةِ ٱلسَّعَةِ ٱلكَهربائيَّةِ وخَفيفَةِ ٱلوَزْنِ في ٱلوَقْتِ نَفْسِه. وقد بَدَأَتِ التحْسيناتُ على ٱلبَطاريَاتِ تَتَوالى ولَنْ يَمُرَّ طَويلُ وَقْتٍ إلَّا وتُصْبِحُ ٱلسيَّارةُ ٱلكَهربائيَّةُ شَيْئًا مَأْلُوفًا!

إلى ٱليَمين

أَنْواعٌ مُخْتَلِفَةٌ مِنَ المَرْكَباتِ العامِلَةِ بِمُحرِّكاتٍ كَهْرَبائيَّةٍ.

شَبَكَةُ ٱلتوزيع (الإمداد)

خطُّ ٱلنَّقل

قاطِعُ ٱلدائرة

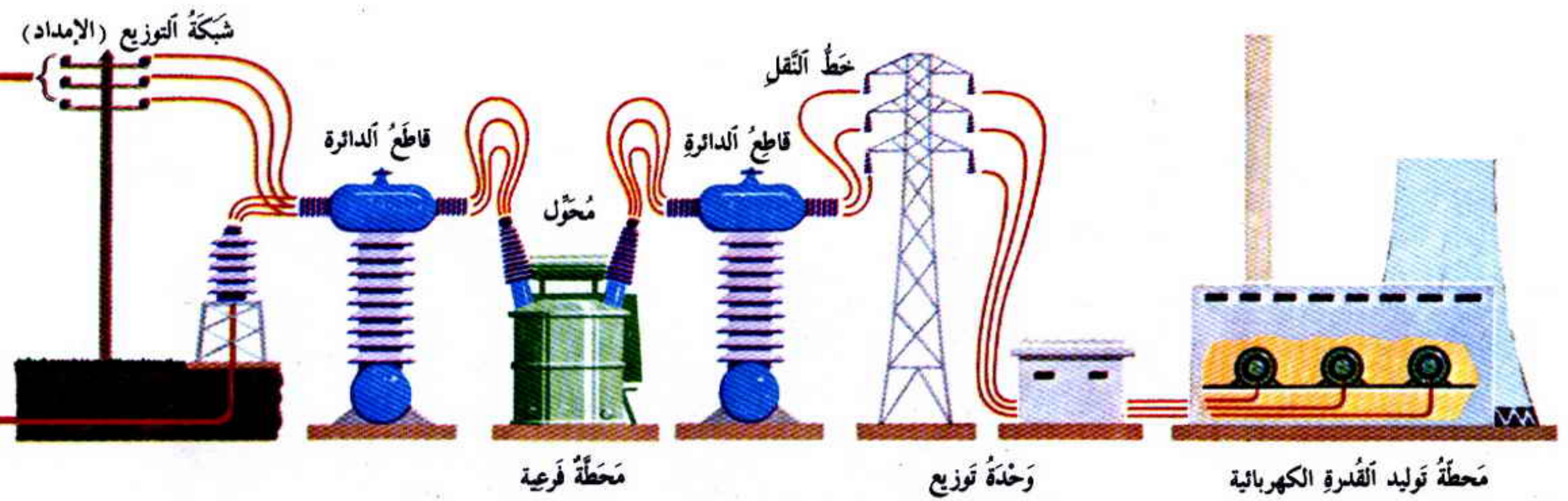
مُحَوِّل

قاطِعُ ٱلدائرة

مَحطَّةُ فرعية

وَحْدَةُ توزيع

مَحطَّةُ توليد ٱلقُدرة ٱلكهربائية

فوق

تُوَلَّدُ ٱلكهرباء في مَحطّاتِ ٱلتوليدِ وتُوَزَّعُ في أنحاءِ ٱلبلادِ بأسلاكٍ عُلْوِيّةٍ (مُعَلَّقة) تحمِلُها أبراجٌ أو أعمِدةٌ خاصّةٌ. وتخَفَّضُ ٱلفُلطيّةُ العاليةُ في هذه ٱلأسلاكِ إلى فُلطيّةِ شَبكةِ التوزيعِ ٱلمُقرَّرة، في مَحطّاتٍ فرعيّة.

كَهرباءُ شَبَكاتِ ٱلتَّوزيع

قُلنا إنّ ٱلبَطّاريّاتِ ٱلجافَّةَ عاليَةُ ٱلتَّكلِفَةِ ولا تَصْلُحُ للاَسْتِعمالِ بَعْدَ ٱستِهلاكِ الموادِّ الكيماوِيَّةِ فيها. والبَطّاريّاتُ الثانَوِيَّةُ أَوِ ٱلمِرْكَماتُ أَيضًا باهظَةُ ٱلتكاليفِ وتَحتاجُ إلى طاقَةٍ كَهْرَبائيةٍ لِشَحْنِها، ثمَّ إنَّ البَطّاريّاتِ على اختِلافِ أنْواعِها لا يُمكِنُ أنْ تَمدَّ مَنازِلَنا بالتَّيّارِ الكافي. فَنَحْنُ نَسْتَخْدِمُ ٱلعَديدَ من ٱلأَدواتِ ٱلكَهرَبائيَّةِ كالغَسّالاتِ والخَلّاطاتِ والبَرّاداتِ والمَكاوي والسَّخّاناتِ والتِلفِزْيُونات وغيرِها. بالإضافَةِ إلى مَصابيحِ الإنارة. ولَو أَرَدْنا تَشْغيلَ هذه ٱلأَدواتِ ٱلكهربائيّةِ بالبَطّاريّاتِ لكانَتِ ٱلتكاليفُ باهِظَةً جدًّا ولاَضطرَّ كُلُّ صاحِبِ مَنْزِلٍ إلى تخصيصِ غُرْفَةٍ خاصّةٍ في منزلِه لاَحتِواءِ ما يَلْزَمُهُ مِنَ ٱلبطّاريّات!

والمَصدرُ ٱلبَديلُ هو ما تُزَوِّدُنا به شَبَكَةُ توزيعِ ٱلتَّيّارِ ٱلكَهْرَبائي المُوَلَّدِ في مَحطّاتِ توليدِ ٱلقُدرَةِ الكَهرَبائيّة (أُنظُر صَفحة ١٨٢) والمَنْقولِ عَبْرَ أَسلاكِ الشَّبَكَةِ إلى البُيوتِ والمَكاتِبِ والمصانِعِ. والفُلطيَّةُ ٱلّتي يُبْعَثُ بها ٱلتَّيّارُ عَبْرَ **شَبَكَةِ ٱلتوزيعِ** الخارجيَّةِ عاليةٌ جدًّا – حوالَى ٢٢٠ أَلفَ فُلْطٍ وقد تَصِلُ إلى ٤٠٠ أَلفِ فُلْط! وتُحْمَلُ أَسلاكُ الشَّبَكَةِ غالِبًا على أَبْراجٍ أو أَعْمِدةٍ خاصّةٍ كالّتي نَراها خارجَ المُدُن. ومِنْ هذه الأَسلاكِ العاليَةِ ٱلفُلْطيَّةِ ٱلمَحمولَةِ على أَبراجٍ يُغَذّى ٱلتَّيّارُ إلى مَحطّاتِ توزيعٍ فَرْعيَّةٍ حَيْثُ تُخَفَّضُ ٱلفُلْطيَّةُ بالمُحَوِّلاتِ (أُنظر صفحة ١٨٠). ومِنَ المَحطّاتِ الفرعيَّةِ يُنْقَلُ ٱلتَّيّارُ مُخَفَّضَ ٱلفُلْطيَّةِ إلى المُسْتَهلِكينَ بواسِطَةِ أَسْلاكٍ عُلْوِيَّةٍ أو مَطْمورةٍ على الأَغْلَب.

والتَّيّارُ ٱلّذي تَحْمِلُهُ شَبَكَةُ التوزيعِ (أو الإمداد) هُوَ **تَيّارٌ مُتَناوِبٌ** في مُعظَمِ بُلْدانِ العالَم. وهذا يَعني أنَّ الفُلْطيَّةَ (أو القُوَّةَ الدافِعَةَ) تتغيَّرُ صُعُودًا وهُبُوطًا، وهيَ لَيْسَتْ ثابِتَةً كما في **ٱلتَّيّارِ المُسْتَمِرّ**. وأَفْضَليَّةُ ٱلتَّيّارِ المُتَناوِبِ في هذا المَجالِ أَنَّ فُلْطيَّتَهُ يُمكِنُ تَغْييرُها بالمُحَوِّلاتِ رَفْعًا أَو خَفْضًا – بَيْنَما لا يُمْكِنُ تَحْويلُ فُلْطِيَّةِ التيّارِ المُسْتَمِرِّ بهذهِ الوَسيلَة.

هنالِكَ عَدّادٌ يَقيسُ كَمِّيَّةَ الكَهرباءِ الداخِلَةِ إلى كُلِّ مَنْزِلٍ أَو مَصْنَعٍ، فَنَحنُ نَدفَعُ قيمَةَ الطاقَةِ الكَهرَبائيَّةِ الّتي نَسْتَهْلِكُها بِحَسَبِ الكَمِّيَّةِ المُسْتَهْلَكَة ولَيْسَ بِمَبْلَغٍ مَقْطوعٍ

٢٤٠ فُلطًا

صفر

فُلطيّة مُوجَبة

فُلطيّة سالبة

الآليّةُ العَدّ

يَسري تيّارُ المُستَهلِك خلالَ العَدّاد

مِغنطيسُ الكَبْح

قُرصُ ألومنيوم

المَأخَذُ الرئيسيّ

مِغنطيس

دائرةُ المُستهلِك

أقصَى اليسار

إنَّ تيّارَ المَأخذِ الرئيسيِّ المتَّصِلِ بشَبكةِ التوزيعِ (الإمداد) هُو تيّارٌ مُتناوِبٌ. وهذا يعني أنَّ الفُلطيَّةَ تَعْلُو منَ الصِّفرِ إلى قيمةٍ ذُرْوِيَّةٍ تُقارِبُ ٣٤٠ فُلطًا، ثُمَّ تَهبِطُ إلى الصِّفرِ في نِصْفِ الدَّورَةِ الأوَّل. وتُصبِحُ الفُلطيَّةُ سالِبَةَ القيمةِ في نِصْفِ الدَّورَةِ التالي بالِغَةً قيمةً دُنْيا تُقارِبُ – ٣٤٠ فُلطًا أيضًا. فَمُعَدَّلُ الفُلطيَّةِ في كُلِّ نِصْفِ دَورَةٍ هو ٢٤٠ فُلطًا. وعَدَدُ هذه الدَّوراتِ في الثانِيَةِ هُو التَرَدُّدُ (أو التَّواتُر) ويُقاسُ بالهِرْتز (دَورة في الثانية). ويَختَلِفُ تَرَدُّدُ التيّارِ من بَلَدٍ لآخَرَ فهو ٥٠ هِرتزًا في بعضِ البلدانِ و ٦٠ هِرتزًا في بُلدانٍ أُخرى.

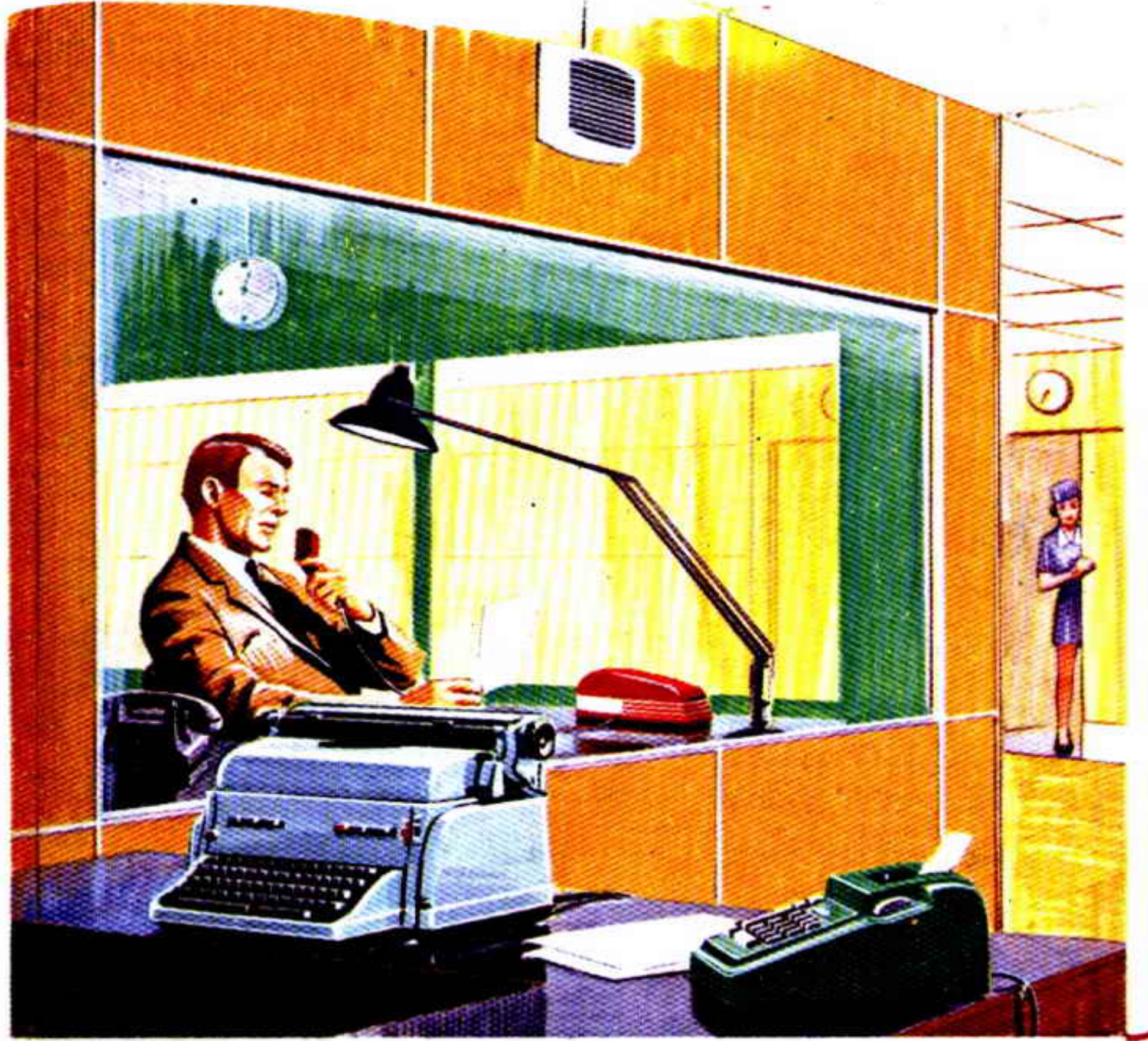
إلى اليَسار

يَتألَّفُ العَدّادُ الكهربائيُّ من مُحرِّكٍ بَسيطٍ يُديرُ آليَّةَ عَدٍّ. وهذه الآليَّةُ تُبيِّنُ عَدَدَ الوَحَداتِ المُستهلَكَةِ (بالكيلوواط ساعة). ومِنَ المُهِمِّ مُلاحَظَةُ انقِطاعِ دَورانِ قُرصِ الألومِنيوم في العَدّادِ عِنْدَ وَقفِ التيّار. ويُستَخدَمُ لِهذا القَرصِ مِغنطيسُ كَبْح.

إلى اليمين
تُستخدَمُ هٰذِهِ الأجْهِزَةُ في المَنازِلِ وتَستَمِدُّ طاقَتَها مِنْ مَأْخَذِ الإمْدادِ الرَّئيسيِّ . وتيّارُ الإمْدادِ هُوَ تيّارٌ مُتناوِبٌ عادَةً فُلطِيَّتُهُ ١١٠ أوْ ٢٢٠ أوْ ٢٤٠ فُلطًا

إلى الأسفل يَمينًا
تُستَخدَمُ هذه الأدواتُ والأجْهِزَةُ في المَكاتِب . في الآلَةِ الكاتِبَةِ الكَهرَبائِيَّةِ تَكفي نَقْرَةٌ خَفيفَةٌ على مِفتاحِ الآلَةِ لِطَبْعِ الحَرفِ ، وهٰذا يُوَفِّرُ على عامِلَةِ الآلَةِ (أو عامِلِها) كَثيرًا مِنَ الجُهدِ ويُمَكِّنُها مِنَ الطَّبْعِ بِسُرعَةٍ ويُسْرٍ . وتَستَخدِمُ حاسِبَةُ المَكتَبِ الإلِكترونيَّةُ صِماماتِ ترانزِستوريَّةً وهِيَ سَريعَةُ العَمَلِ عَديمَةُ الضَجيجِ ولذا فَقَدْ أَخَذَتْ تَحُلُّ مَحَلَّ الحاسِباتِ الآلِيَّةِ ومَكَناتِ الجَمْعِ القَديمَة .

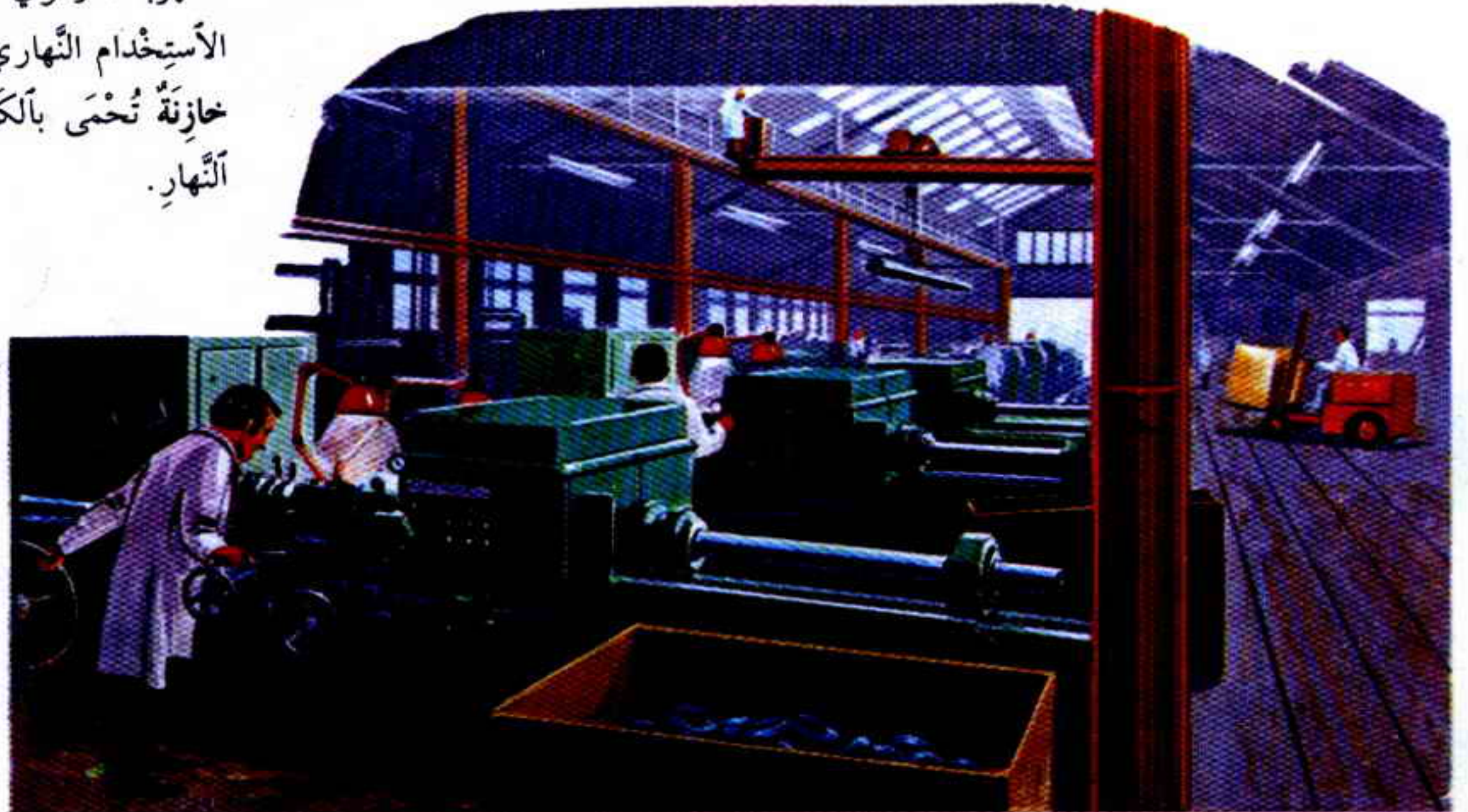
كما هُوَ العُرفُ السّائدُ في اشتِراكاتِ المِياهِ في مُعْظَمِ الأقطار ، فالذي يَستَهلِكُ طاقَةً كَهرَبائِيَّةً أكثَرَ يَدفَعُ أكثَرَ .

يَتألَّفُ العَدّادُ الكَهرَبائيُّ مِنْ مُحَرِّكٍ بَسيطٍ مُتَّصِلٍ بِآلِيَّةِ عَدٍّ . وتَحمِلُ آلِيَّةُ العَدِّ هذه ميناءً يُبَيِّنُ عَدَدَ الوَحَداتِ الكَهرَبائيَّةِ المُستَهلَكَةِ . وفي فَتَراتٍ مُنتَظِمَةٍ على مَدارِ السَّنَةِ يَحضُرُ جابِي شَرِكَةِ الكَهرَباءِ لِقِراءَةِ العَدّادِ ثُمَّ تُرسَلُ الفاتورَةُ إلى المُستَهلِكِ (أو يَحمِلُها لَه الجابي في زِيارَتِه التالِيَةِ لِقِراءَةِ العَدّاد) . وتُحسَبُ الفاتورَةُ على أساسِ كَمِّيَّةِ الكَهرَباءِ المُستَهلَكَةِ مَقيسَةً بالكيلوواط ساعة . فإذا استَخدَمْتَ سَخّانًا قُدرَتُه ٢ كيلوواط لِمُدَّةِ ساعَةٍ تَكونُ كَمِّيَّةُ الكَهرَباءِ المُستَهلَكَةِ ٢ كيلوواط ساعة . أمّا استِخدامُ سَخّانٍ قُدرَتُه ٣ كيلوواط لِمُدَّةِ ساعَتَيْنِ فيَستَهلِكُ طاقَةً كَهرَبائيَّةً مِقدارُها ٦ كيلوواط ساعة .

يَعتَمِدُ سِعرُ الكَهرَباءِ على عِدَّةِ عَوامِلَ . وفي مُعظَمِ البُلدانِ يَتأثَّرُ السِّعرُ بالوَقتِ مِنَ النَّهارِ الذي تُستَخدَمُ فيه الكَهرَباء ، وهُوَ في الاستِخدامِ اللَّيليِّ عادةً أرخَصُ مِنْه في الاستِخدامِ النَّهاريِّ . لِذلِكَ تُستَخدَمُ أحيانًا **مُسَخِّناتٌ خازِنَةٌ** تُحمَى بِالكَهرَباءِ لَيلاً وتُشِعُّ حَرارَتَها في أثناءِ النَّهارِ .

إلى اليمين
يَعمَلُ الكَثيرُ مِنَ المَكَناتِ والآلاتِ الصِّناعِيَّةِ على تيّارِ شَبَكَةِ التَّوزيع . وتَحتاجُ المَكَناتُ الثَّقيلَةُ إلى تَمديداتٍ كَهرَبائِيَّةٍ خاصَّةٍ لِتَشغيلِها .

اَلمِغْنَطيسِيَّةُ

عَرَفَ ٱلإغْريقُ (ٱلْيونانِيُّونَ ٱلقُدماءُ) حَجَرَ ٱلمِغْنَطيسِ وقُدْرَتَهُ علَى جَذْبِ قِطَعِ ٱلحَديدِ إلَيْهِ حوالَى ٱلسَّنَةِ ٥٠٠ قَبْلَ ٱلميلادِ. وهذا ٱلحجَرُ هُو أَحَدُ خاماتِ ٱلحديدِ ويُعرف **بالمَغْنِتَيْت**. وتُطْلَقُ لَفظَةُ **مِغْنَطيسٍ** على كُلِّ مادَّةٍ لَها خاصِّيَّةُ ٱلتِقاطِ قِطَعِ ٱلحديدِ، وتُسَمَّى ٱلخاصِّيَّةُ نَفْسُها **المِغْنَطيسِيَّةَ**.

والمَغْنِتَيْتُ مُرَكَّبٌ منَ ٱلحديدِ وٱلأُكْسجينِ، أمَّا ٱلمَغانِطُ ٱلعادِيَّةُ ٱلمأْلوفَةُ فَمَصْنُوعَةٌ منَ ٱلحَديدِ أو ٱلفُولاذِ.

وتُصْنَعُ ٱلمغانِطُ بأشكالٍ مُخْتَلِفَةٍ لكِنَّها غالِبًا ما تكُونُ **قَضيبِيَّةً** (بشكلِ قُضْبانٍ) أو **نِضْوِيَّةً** (بِشكْلِ حِذاءِ ٱلفَرَسِ).

إذا كَانَ لَدَيْكَ مِغْنَطيسٌ فَيُمكِنُكَ ٱخْتِبارُهُ بِبُرادَةِ ٱلحَديد. الْمِسْ بِهِ ٱلبُرادةَ فَتُلاحِظ ٱنْجِذابَها إلى طَرَفَيْهِ، وهَذا يُبَيِّنُ أَنَّ المِغْنَطيسِيَّةَ أشَدُّ في هاتَيْنِ ٱلمِنْطَقَتَيْنِ اللَّتَيْنِ تُسَمَّيانِ **قُطْبَيِ** ٱلمِغْنَطيس.

عَلِّق قَضيبًا مِغنطيسيًّا مِنْ مُنْتَصَفِهِ تَعْليقًا حُرًّا بِحَيْثُ يَتوازَنُ ٱلمِغْنَطيسُ أُفُقِيًّا، ولاحِظْ أَنَّهُ دائمًا يأخُذُ ٱتِّجاهًا ثابِتًا شَمَالِيًّا جَنوبيًّا. والواقِعُ إنَّ أَحَدَ طَرَفَيِ ٱلمِغْنَطيسِ

إلى أَسفَل

قِطْعَةٌ من حَجَرِ المِغْنَطيس أو ٱلمَغْنِتَيْت (أُكْسيدِ ٱلحديدِ ٱلمِغْنَطيسي)

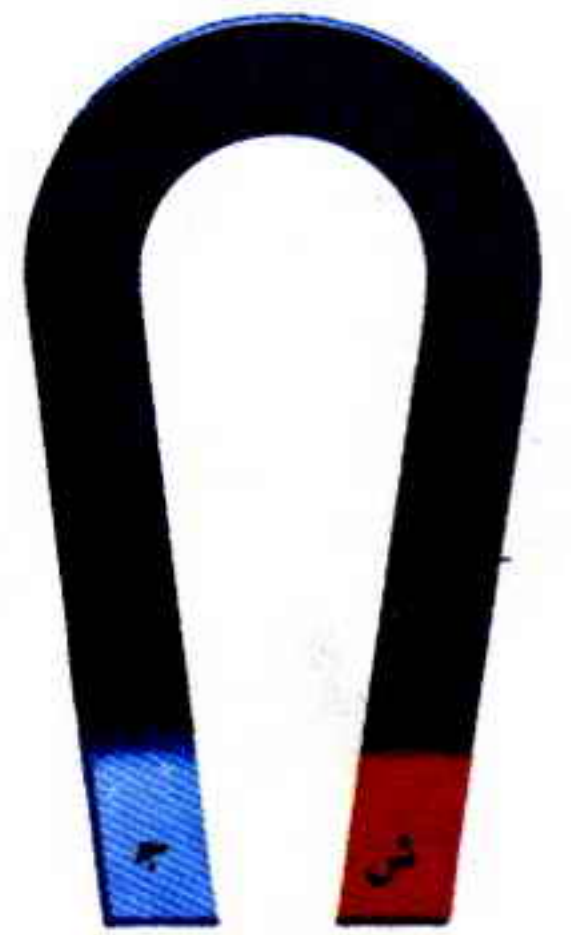
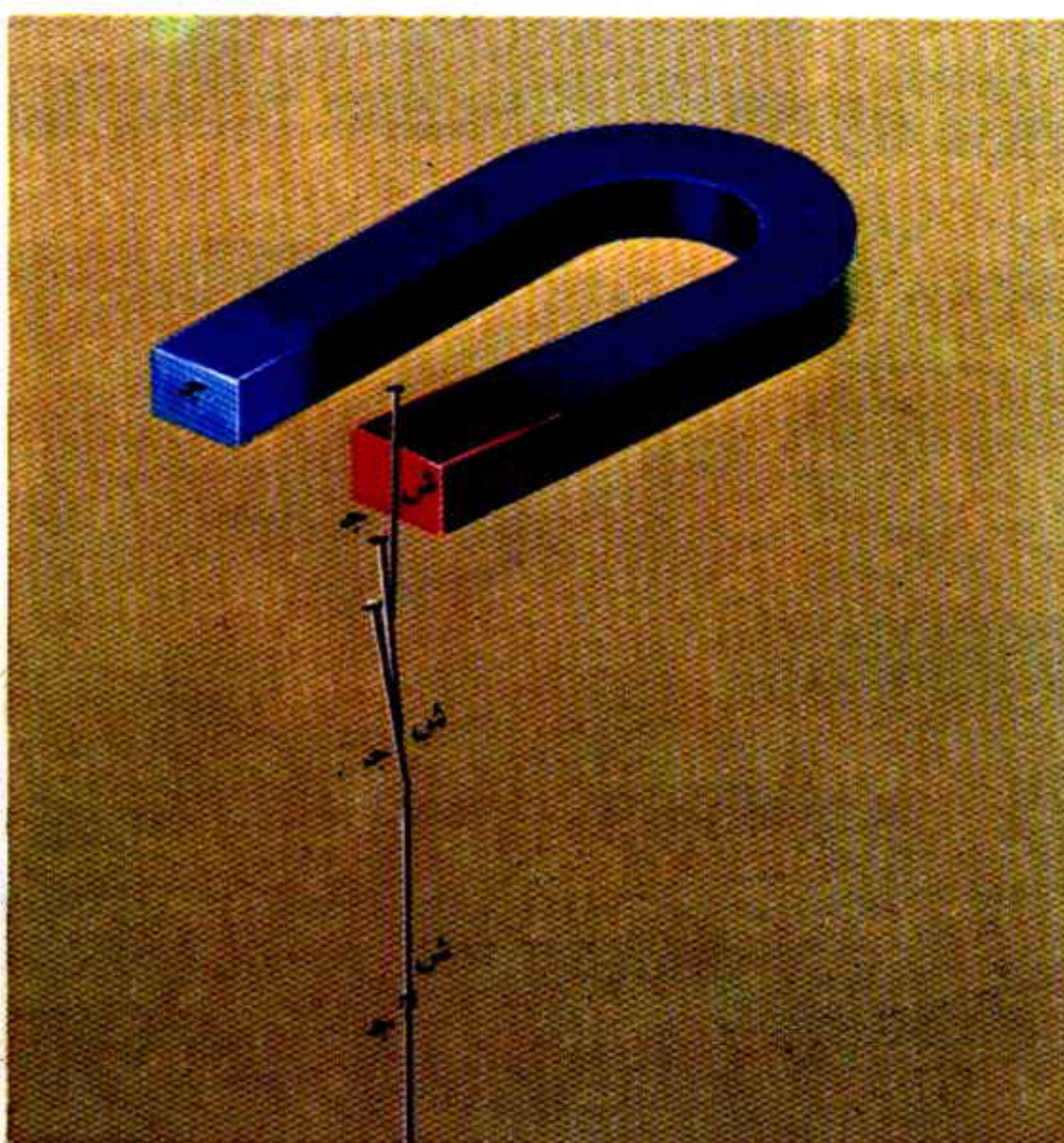
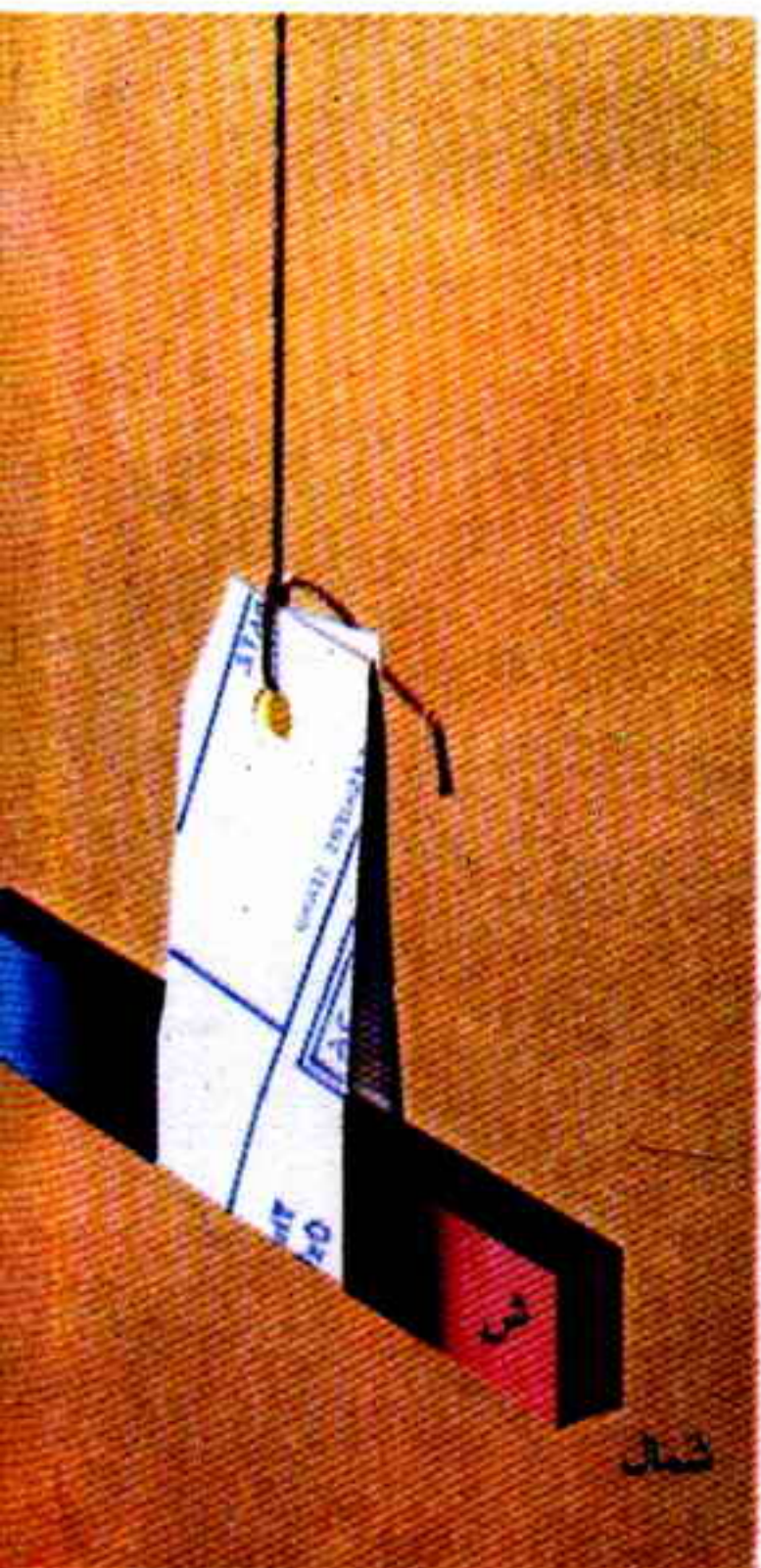
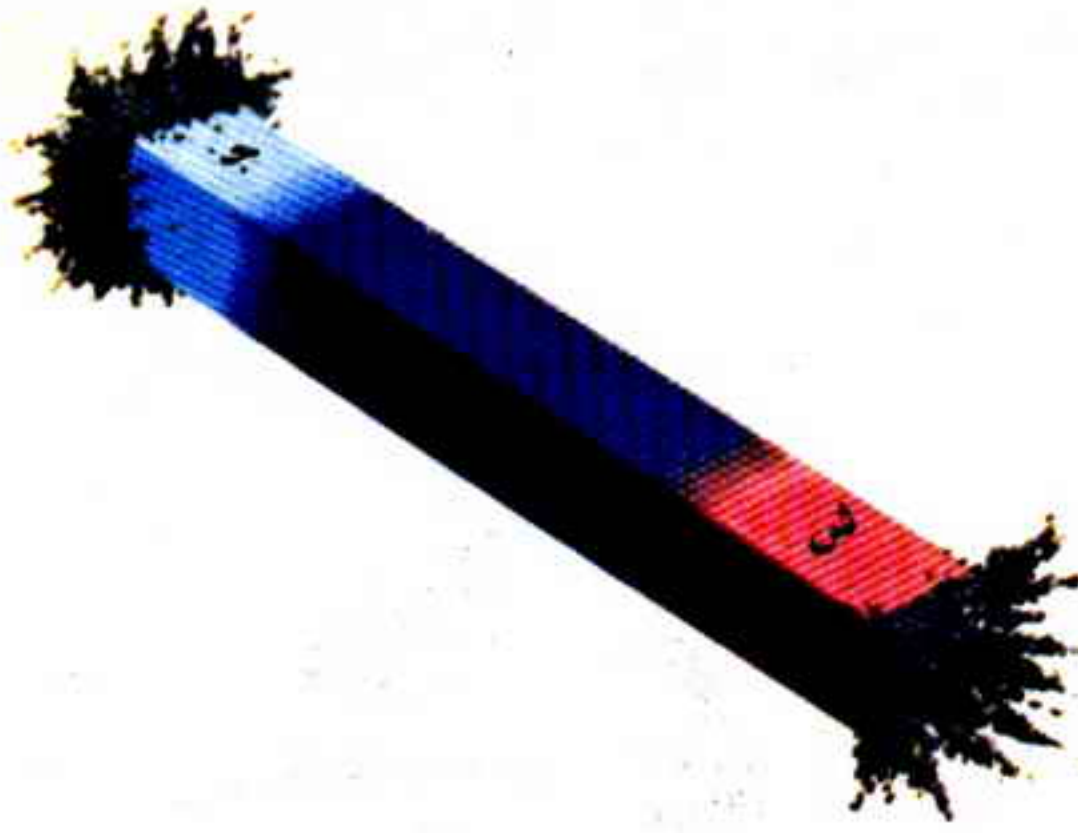
إلى أَسفَل

أَشْهَرُ أَشكالِ ٱلمَغانِطِ المِغنطيسُ ٱلقَضيبيُّ (على شَكْلِ قُضبان) والنِّضويُّ (بِشَكْلِ حِذاءٍ أو حَدوةِ ٱلفَرَس)

إلى ٱليمين

تَنْجذِبُ ٱلبُرادَةُ نَحو قُطْبَي ٱلمِغْنَطيسِ حَيْثُ ٱلمِغْنَطيسيَّةُ الأَقْوى. عِنْدَ قَطْعِ قَضيبِ ٱلمِغْنَطيسِ نِصْفَيْنِ لا يَنْفَصِلُ ٱلقُطْبانِ بَلْ يُصْبِحُ كُلُّ نِصْفٍ مِغْنَطيسًا قائمًا بِذاتِهِ لَهُ قُطْبٌ شَمالِيٌّ وآخَرُ جَنُوبِيٌّ.

إلى أَسْفَل

عَلِّق قَضيبًا مِغْنَطيسيًّا كما تَرى في ٱلشَّكْل وستُلاحِظُ أنّه يتَّخِذُ دائمًا ٱتّجاهًا شَمالِيًّا جَنُوبيًّا. وبِمَعْرِفَتِكَ ٱلاتّجاهَ الشَّماليَّ يُمكِنُكَ تَعْيينُ قُطْبَيِ ٱلمِغْنَطيسِ ٱلشَّماليِّ ٱلجَنوبيِّ وتَعْليمُهُما.

إلى ٱليَسار

يُمكِنُ تَعليقُ سِلْسِلَةِ دَبابيسَ من قُطْبِ ٱلمِغنطيس. إنَّ كُلَّ دَبُّوسٍ يُصْبِحُ مِغْنَطيسًا كَما تَرى، فَنَقُولُ إنّه قَدْ تَمَغْنَطَ. لاحِظْ أنَّ ٱلقُطْبَ ٱلشَّماليَّ لِلْمِغنطيسِ يُحْدِثُ (أو يَسْتَحِثُّ) قُطبًا جَنُوبيًّا على طَرَفِ ٱلدَّبُّوسِ الأَقْرَبِ إِلَيْهِ.

يتّجهُ دوْمًا نحو القُطبِ الشَّماليِّ لِلأرضِ بيْنَما يتّجهُ الطَّرَفُ الآخَرُ نحْوَ القُطْبِ الجنوبيِّ.

وتُستَخدَمُ هذه الظّاهِرةُ في البُوصَلَةِ (أنظُر صفحة ١٧٦). ويُسَمَّى طَرَفُ المِغْنَطيسِ الّذي يتّجهُ نحوَ القُطبِ المِغْنَطيسيِّ الشَّماليِّ للأرضِ القُطْبَ الباحِثَ عنِ الشَّمالِ أو **القُطبَ الشَّماليّ**. ويُسَمَّى الطَّرَفُ الآخَرُ **القُطب الجَنُوبيّ**.

جَرِّبْ مِغْنَطيسَكَ على بَعْضِ الأدواتِ والمَوادِّ حَوْلَكَ، وستُلاحِظُ أنَّ بَعْضَ المَوادِّ فقَطْ تَنْجَذِبُ إلى المِغْنَطيس. فَبِإمكانِكَ مَثَلاً أن تَلْتَقِطَ به الدبابيسَ والمَساميرَ ولكِنَّهُ لا يَجْذِبُ الخَشَبَ واللّدائنَ (البلاستيك) والوَرَقَ. وكَذلِكَ لَن يَجْذِبَ المِغْنَطيسُ الكَثيرَ من المَعادِنِ الفِلِزِّيَّةِ كالنُّحاسِ والألُومِنيُوم والذَّهَب. ونَحنُ نُسَمِّي الموادَّ الّتي تَنْجَذِبُ إلى المِغْنَطيس **مَوادَّ مِغْنَطيسيَّة** بيْنَما نُسمِّي الموادَّ الأُخرَى **لامِغْنَطيسيَّة**.

هُنالِكَ قِلَّةٌ فَقَطْ منَ المَوادِّ المِغنطيسيَّةِ أشْهَرُها الحَديدُ. وفِلِزّا النِّيكِلِ والكُوبَلْت هُما أيْضًا من المَوادِّ المِغْنَطيسيَّة. والأُشاباتُ المَصْنُوعَةُ من هذه الفِلِزّاتِ الثَّلاثَةِ مِغْنَطيسيَّةٌ أيضًا. والفُولاذُ الّذي هُو خَليطٌ من الحديدِ والكَرْبُونِ وشَوائبَ قليلةٍ من فِلِزّات أُخرى هُو منَ الموادِّ القَوِيَّةِ المِغْنَطيسيَّة.

إذا كانَ لَدَيْكَ قَضِيبانِ مِغْنَطيسيّانِ فَحاول أنْ تُعَيِّنَ القُطْبَ الشَّماليَّ والقُطْبَ الجَنُوبيَّ لِكُلٍّ مِنْهُما، ثُمَّ عَلِّمْهُما. بَعْدَ ذلكَ قَرِّب المِغْنَطيسَيْنِ مِنْ بَعْضِهما ولاحِظْ أنَّ القُطْبَ الشَّماليَّ لِمِغْنَطيسٍ يَجْذِبُ القُطْبَ الجنوبيَّ لِلمِغْنَطيسِ الآخر. وكَذلِكَ ستُلاحِظُ أنَّ القُطبَ الشَّماليَّ لأَحَدِ المِغْنَطيسَيْنِ **يُنافِرُ** القُطبَ الشَّماليَّ لِلمِغْنَطيسِ الآخَرِ، كَما إنَّ القُطبَيْنِ الجَنُوبِيَّيْنِ لِلمغنطيسَيْن أيْضًا يتنافَران.

- عَلِّقْ دبُّوسًا منْ قُطْبِ مِغْنَطيسٍ ثُمَّ عَلِّقْ دبُّوسًا آخرَ من طَرَفِ الدَّبُّوسِ الأوَّلِ وكَرِّرْ ذلِكَ حَتّى تَحْصُلَ على سِلْسِلَةٍ منَ الدَّبابيسِ المُمَغْنَطَةِ. إنَّ كُلَّ دبُّوسٍ في السِّلْسِلَةِ قد أصْبَحَ مِغْنَطيسًا، وهذا النَّوعُ منَ **التمَغْنُط** هُوَ تمَغْنُطٌ بالتأثير. وَقَدْ تَجِدُ أنَّ الدبابيسَ تَحتَفِظُ بِبَعْضِ مِغْنَطيسيَّتِها بَعْدَ فَصْلِها عنِ المِغْنَطيسِ. والطَّريقَةُ الأفْضَلُ لِمَغْنَطَةِ مِسْمارٍ فُولاذيٍّ هي دَلْكُهُ بمِغْنَطيسٍ. اُدْلُك المِسْمارَ باتِّجاه واحِدٍ عِدَّةَ مَرّات بالقُطبِ المِغنطيسيِّ نَفْسِهِ بادِئًا كُلَّ مَرَّةٍ بالطَّرَفِ نَفْسِهِ منَ المِسْمارِ ومُنْتَهِيًا بطَرَفِه الآخَر. اِرْفَعِ المِغْنَطيسَ عالِيًا عِنْدَ نَقْلِهِ لِتَبْدَأَ دَلْكَةً تاليَةً.

قضيبٌ غير مُمَغنَطٍ

قضيبٌ مُمَغنَطٌ

إلى اليسار

في المَوادِّ المِغْنَطيسيَّةِ كالحَديدِ تكونُ الذَّرّاتُ نَفْسُها مِغْنَطيساتٍ دَقيقَةً جِدًّا. لكِنَّ هذه المِغْنَطيساتِ تتَّخِذُ عادَةً اتِّجاهاتٍ مُتعدِّدةً شَتّى وَهُو حالُ القضيبِ غَيْرِ المُمَغْنَطِ. أمّا في حالَةِ المَغْنَطَةِ فتَتَّخِذُ المِغْنَطيساتُ الدقيقَةُ (الذَّرِّيَّةُ) اتِّجاهًا مُوَحَّدًا.

عِنْدَ تَقْريبِ قَضيبٍ مِغْنَطيسيٍّ مِن آخَرَ غَيْرِ مُمَغْنَطٍ يتمَغْنَطُ هذا بالتأثيرِ، لأنَّ مِغْنَطيساتِه الذَّرِّيَّةَ تَترتَّبُ في اتّجاهٍ مُوَحَّدٍ بِفِعْلِ المِغْنَطيسِ المُؤثِّر. وَعِنْدَ تَسخينِ المِغْنَطيسِ يَفْقِدُ خاصِّيَّةَ التمَغْنُطِ لِأنَّ الحَرارَةَ تُشَتِّتُ نِظامَ ذَرّاتِه. كَذلِكَ يَفْقِدُ المِغْنَطيسُ مِغْنَطيسيَّتَهُ بالطَّرْقِ أو الإسْقاطِ لِلسَّببِ نَفْسِه.

إلى أسفَل

الدَّلْكُ بالمِغْنَطيس هو إحدى الطُّرقِ لِمَغْنَطَةِ مِسمارٍ أو قطعةٍ من الحديدِ. استَخْدِمْ قُطبَ المِغنطيسِ نَفْسَهُ وابدأ الدَّلْكَ دائمًا من الطَّرَفِ ذاتِه.

اَلمَجالاتُ اَلمِغْنَطيسيَّة

كانَ اَلإغْريقُ يَعتَقِدُونَ أَنَّ اَلسَّبَبَ في جَذْبِ اَلمِغْنَطيسِ لِقِطَعِ اَلحَديدِ هو وُجودُ خُطَّافاتٍ دَقيقَةٍ على سَطْحِهِ. ومِنَ اَليَسيرِ بَرْهَنَةُ عَدَمِ صِحَّةِ ذلكَ. فإنَّكَ حينَ تُقَرِّبُ اَلمِغْنَطيسَ مِنْ دَبُّوسٍ يَقْفِزُ اَلدَّبُّوسُ نَحْوَ قُطْبِ اَلمِغْنَطيسِ، كَما يُمْكِنُكَ جَذْبُ اَلأَجسامِ بِالمِغْنَطيسيَّةِ عَبْرَ قِطْعَةٍ فاصِلَةٍ مِنَ اَلوَرقِ.

إنَّ جَذْبَ اَلمِغْنَطيسِ لِلأَجْسامِ دُونَ أن يَمَسَّها يَدْعُونا إلى اَلتَّفكيرِ في كَيْفِيَّةِ حُدوثِ ذلِكَ. فَكَيْفَ يُؤَثِّرُ اَلمِغْنَطيسُ في اَلجِسْمِ اَلآخَرِ؟ بَلْ كَيْفَ يَتَهَيَّأُ اَلدَّبُّوسُ فَيَقْفِزُ نَحو اَلمِغْنَطيسِ؟ مِنَ اَلبَديهيِّ أَنَّ لِلْمِغْنَطيسِ نَوْعًا من اَلتأثيرِ يَنْتَشِرُ في اَلفَضاءِ حَوْلَهُ. وقَدْ عَرَضَ اَلعُلَماءُ فِكْرَةَ اَلمَجالاتِ اَلمِغْنَطيسيَّةِ لِتَفْسيرِ هذهِ اَلظَّاهِرَةِ. فَالمِغْنَطيسُ يُؤَثِّرُ في مِنْطَقَةٍ حَوْلَهُ يَجْذِبُ فيها اَلموادَّ اَلمِغْنَطيسيَّةَ ويَتَبادَلُ فِيها اَلتَّنافُرَ أَوِ اَلتجاذُبَ مَعَ اَلمِغْنَطيساتِ اَلأُخْرى، وهذِهِ اَلمِنْطَقَةُ تُسَمَّى مَجالَ اَلقُوَّةِ أَو **مَجالاً مِغْنَطيسيًّا**.

يُمكِنُكَ بَيانُ اَلمَجالِ اَلمِغْنَطيسيِّ عَمَليًّا بِوَضْعِ وَرَقَةٍ فَوْقَ مِغْنَطيسٍ وَرَشِّ قَليلٍ مِن بُرادَةِ اَلحَديدِ فَوْقَها. عِنْدَ نَقْرِ اَلوَرَقَةِ بِخِفَّةٍ تَنْتَظِمُ اَلبُرادَةُ في نَسَقٍ مُحَدَّدٍ تَتَجَمَّعُ فيه في اَلمَناطِقِ اَلتي يَكُونُ تَأْثيرُ اَلمِغْنَطيسِ فِيها أَشَدَّ. وبِاستِطاعَتِكَ مُلاحَظَةُ كَثافَةِ تَجَمُّعِ اَلبُرادَةِ قُرْبَ اَلقُطْبَيْنِ، وانْتِظامِها في خُطُوطٍ تَمتَدُّ بِوُضوحٍ بَيْنَهُما. هذِهِ اَلخُطوطُ تُسَمَّى خُطُوطَ اَلمَجالِ اَلمِغْنَطيسيِّ وَهيَ خُطوطٌ وَهْمِيَّةٌ تَمتَدُّ مِنَ اَلقُطبِ اَلشَّماليِّ إلى اَلقُطْبِ اَلجَنُوبيِّ في اَلمِغْنَطيسِ، وتُبَيِّنُ اَلاتِّجاهَ اَلَّذي يُؤَثِّرُ فيه اَلمِغْنَطيسُ على اَلشّيءِ اَلذي يُوضَعُ في مَجالِهِ. ويَتَضاءَلُ تأْثيرُ المِغْنَطيسِ كُلَّما اَبْتَعَدْنا عَنْه فَنَقُولُ إنَّ مَجالَهُ يَضْعُفُ.

كانَتِ اَلبُوصلةُ أَوَّلَ اَستِخْدامٍ عَمَليٍّ لِلْمِغْنَطيساتِ لِتُساعِدَ في مَعْرِفَةِ اَلاتِّجاهات. وهذا يَعْتَمِدُ على حَقيقَةِ أَنَّ لِلأَرضِ مَجالاً مِغْنَطيسيًّا، وأَنَّها تَعْمَلُ كَقَضيبٍ مِغْنَطيسيٍّ ضَخْمٍ. وَلْنَتَخَيَّلِ اَلأرْضَ في دَورانِها حَولَ مِحْوَرٍ وَهمِيٍّ، فأَحدُ طَرَفَيْها هو اَلقُطْبُ اَلشَّماليُّ والآخَرُ هو قُطبُها اَلجَنُوبيُّ وهذانِ هُما اَلقُطبانِ اَلجُغْرافِيَّانِ لِلأَرضِ. والأَرضُ تَعْمَلُ كَقَضيبٍ مِغْنَطيسيٍّ كبيرٍ على طُولِ هذا اَلمِحْوَرِ. فأَيُّ مِغْنَطيسٍ مُعَلَّقٍ في مَجالِ هذا المِغْنَطيسِ اَلكَبيرِ سَيَنْحُو باتِّجاه خُطُوطِ مَجالِه. وإبرَةُ اَلبُوصَلَةِ هيَ مِغْنَطيسٌ صَغيرٌ يَتَّخِذُ بِاَستِمرارٍ اَتِّجاهًا شَماليًّا جَنوبيًّا. ويُسَمَّى طَرَفُ اَلبُوصَلَةِ اَلَّذي يَتَّجِهُ نَحْوَ الشَّمالِ قُطْبَها اَلباحِثَ عَنِ اَلشَّمالِ أو قُطبَها اَلشَّماليَّ، والآخَرُ هو قُطبُها اَلجَنُوبيَّ.

وفي اَلواقِعِ لا تُشيرُ اَلبُوصَلَةُ إلى اَلقُطْبِ اَلشَّماليِّ

إلى اليمين

يُمكِنُ تَحريكُ قِطْعَةٍ مِنَ اَلحديدِ فَوقَ لَوحٍ مِن اَلوَرقِ اَلمُقَوَّى (اَلكَرْتُون) بواسِطَةِ مِغْنَطيسٍ قَويٍّ تَحْتَ اللَّوحِ، وذلِكَ لِأَنَّ تأثيرَ المِغنطيسِ يَنفُذُ عَبْرَ اللَّوحِ.

إلى أقصى اليمين

إستِخدامُ بُرادَةِ الحَديدِ لِبَيانِ المجالِ المِغْنَطيسي. غَطِّ المِغْنَطيس بلَوحٍ زُجاجيٍّ ثُمَّ انْثُرِ البُرادة وانْقُرِ اللَّوحَ بِلُطفٍ. لاحِظِ انْتِشارَ خُطُوطِ القُوَّةِ (خطوطِ المجالِ المغنطيسي) بَيْنَ قُطبَي المِغنطيس.

فوق

تَنفُذُ المِغنطيسيَّةُ أيضًا عبْرَ السَّوائل. فَيمكِنُكَ التحكُّمُ في سَيْرِ قارِبٍ صَغيرٍ (نصف فلِّينةٍ ثُبِّتَ بِقاعِدَتِها ٣ دبابيس رَسْم) يَطفُو على سَطحِ الماءِ في صينيَّةٍ ضَحْلَةٍ مِنَ البلاستيك.

ٱلصَّحيحِ ، فهِيَ تتّجِهُ نحْوَ ٱلقُطبِ ٱلشَّمالِيِّ **ٱلمِغْنَطيسيِّ** وهذا يَبْعُدُ بِضْعَ مِئاتٍ مِنَ ٱلأَمْيالِ عَنِ القُطبِ ٱلشَّماليِّ ٱلصَّحيحِ (جُغرافيًّا).

وٱلمَلَّاحُونَ دَوْمًا يُجْرُونَ تَصْحيحاتٍ لِتَدارُكِ هذا **الآنحرافِ** في ٱتِّجاه ٱلبوصَلَةِ ، وهذا لَيْسَ بِالأَمْرِ ٱلهَيِّنِ إذْ إنَّ مَوْقِعَيِ ٱلقُطبَيْنِ ٱلمِغْنَطيسيَّيْنِ لِلأرضِ يتَغَيَّرانِ قَليلاً من سَنَةٍ لِأُخْرَى . وفي بَعْضِ ٱلأماكِنِ تَخْتَلُّ قِراءَةُ ٱلإبْرَةِ ٱلمِغْنَطيسيَّةِ لِوُجُودِ خاماتِ ٱلحَديدِ في طَبَقاتِ الأَرْضِ فيها ، أو لِوُجودِ قِطْعَةٍ فُولاذِيَّةٍ ضَخْمَةٍ عَلَى مَقْرُبَةٍ مِنْها . وَيُمكِنُ حَجْبُ ٱلبُوصَلَةِ عنِ ٱلمجالاتِ ٱلمِغْنَطِيسيَّةِ ٱلشَّارِدَةِ بِقِطْعَةٍ منَ ٱلحَديدِ ٱلمُطاوِعِ .

فَوق

تَعْمَلُ الأرضُ كَمِغْنَطيسٍ ضَخْمٍ ولذا يُمكِنُ استخدام ٱلبوصَلَةِ لِمَعْرِفةِ ٱلشَّمالِ وٱلجَنوب . فإبرةُ ٱلبُوصَلَةِ هي مِغْنطيسٌ صَغيرٌ مُوازَنٌ على مُرْتَكَزٍ دَقيقٍ . وَتتّخِذُ الإبرةُ دَوْمًا اتجاهًا شَماليًّا جَنُوبيًّا على طُولِ خُطوطِ ٱلمجال ٱلمِغْنطيسيِّ لِلأرض . وٱلواقِعُ إنَّ مَجالَ الأرضِ ٱلمِغْنَطيسيَّ غَيْرُ مُتَماثِلٍ وذلِكَ بتَأثيرِ مِغْنَطيسِيَّةِ ٱلشَّمسِ .

فَوق – أَعلى ٱليسار

يُمكِنُكَ صُنْعُ بُوصَلَةٍ صَغيرةٍ بسُهولَةٍ . مَغْنِطْ أوّلاً إبْرَتَي خِياطةٍ كَبيرَتَيْنِ بدَلْكِهِما بمِغْنَطيسٍ (انظر صفحة ١٧٥) ، ثُمَّ ثَبِّتْهُما جَنْبًا إلى جَنْبٍ في قِطْعَةِ كَرتونٍ مُستديرةٍ بحَيْثُ يَتَّجِهُ قُطباهُما ٱلشَّمالِيّانِ في الآتِّجاه نَفْسِه . يُمكِنُكَ تَركيزُ قِطعَةِ ٱلكرتُونِ هذه على إبْرَةٍ ثالِثَةٍ كما هُوَ مُبَيَّنٌ في الشَّكْلِ . قَبْلَ تَعليمِ نِقاطِ ٱلبُوصَلةِ على قِطعَةِ الكَرتُونِ عَيِّنْ طَرَفَ إبرةِ ٱلبُوصَلةِ ٱلذي يُشيرُ إلى ٱلشَّمالِ .

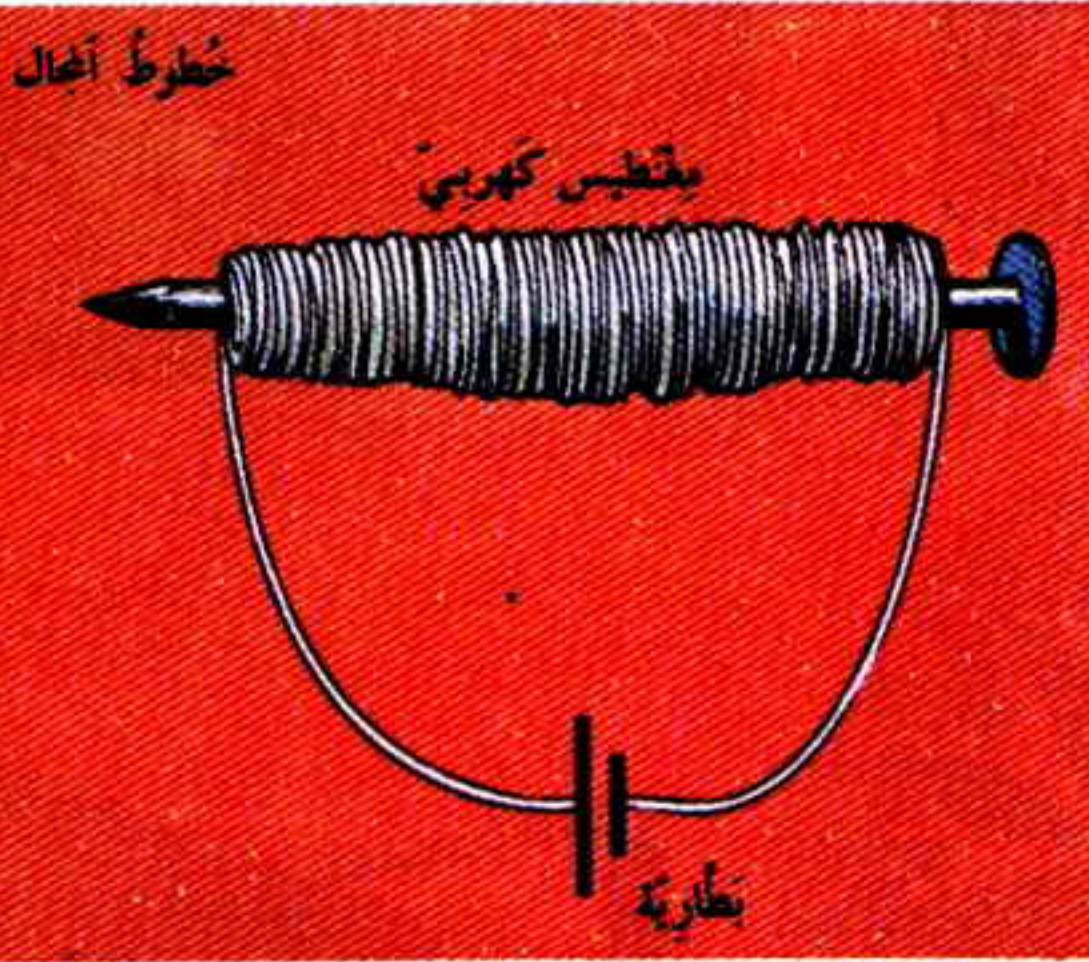
فَوق – إلى ٱليَسار

إسْتَخْدَمَ ٱلصِّينيُّونَ ٱلبُوصَلَةَ لِمَعْرِفَةِ الآتِّجاهاتِ مُنْذُ أكْثَرَ من أَلفَي سَنَةٍ . وفي ٱلصُّورةِ تَرى قُرْصَ ٱلبُوصَلَةِ في بُوصَلَةٍ مِلاحِيَّةٍ . تُرَكَّبُ ٱلبُوصَلاتُ ٱلمِلاحِيَّةُ في ٱلسُّفُنِ على مُرتَكَزاتٍ تُبْقيها أُفُقِيَّةً مَهْما تَرَجَّحَتِ ٱلسَّفينةُ او ٱنعَطَفَتْ .

إلى ٱليَسار

مَشْهدٌ للأَضواءِ ٱلقُطبيَّةِ ٱلشَّمالِيَّةِ أو ٱلشَّفَقِ ٱلشَّماليِّ ٱلذي يُرى لَيْلاً في ٱلمِنطقَةِ ٱلقُطبيَّةِ ٱلشَّماليَّةِ وسَبَبُهُ جُسَيْماتٌ مَشْحُونَةٌ من ٱلشَّمسِ أَسَرَها مَجالُ ٱلأرضِ ٱلمِغْنَطيسيُّ . وفي ٱلمِنطَقةِ ٱلقُطبيَّةِ ٱلجنوبيَّةِ يُشاهَدُ ٱلشَّفَقُ ٱلجَنوبيُّ (أو الأضواءُ ٱلقطبيَّةُ ٱلجنوبيَّة) .

فوق

تكشفُ هذه التجربةُ البسيطةُ عَن وُجود مَجال مِغنطيسي حول سِلكٍ يَحمِلُ تيارًا كَهربائيًّا. عِندَ وَصْلِ البطاريّةِ تتحرَّكُ إبرةُ البوصَلَةِ.

أورستد

فوق

هانز كريستيان أورستِد (١٧٧٧ – ١٨٥١) عالِمٌ دانماركيٌّ تَوَقَّعَ وُجودَ عَلاقَةٍ بَيْنَ الكَهرباءِ والمِغنَطيسيَّةِ، وهذا قادَه إلى اكتِشافِ التأثيرِ المِغنَطيسيِّ لِلتيّارِ الكَهرَبائي عام ١٨٢٠.

فوق

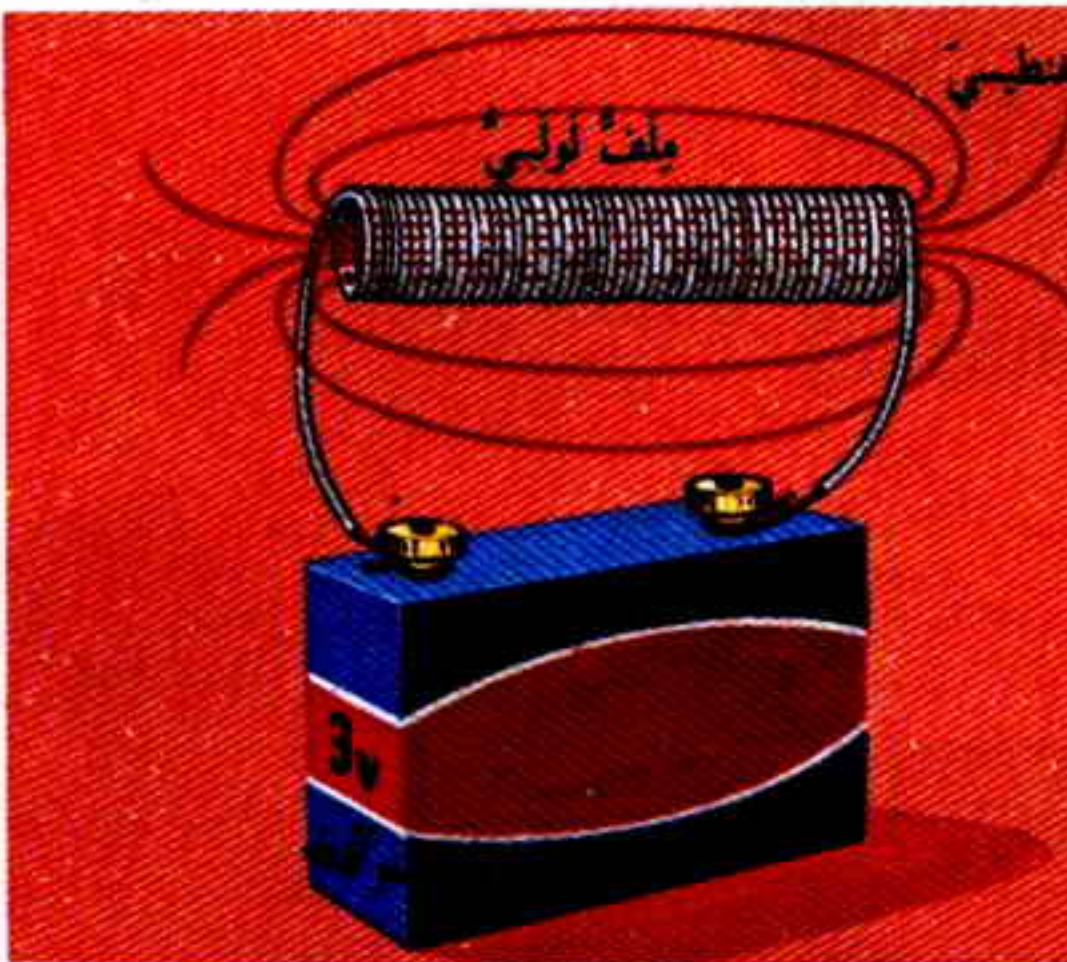
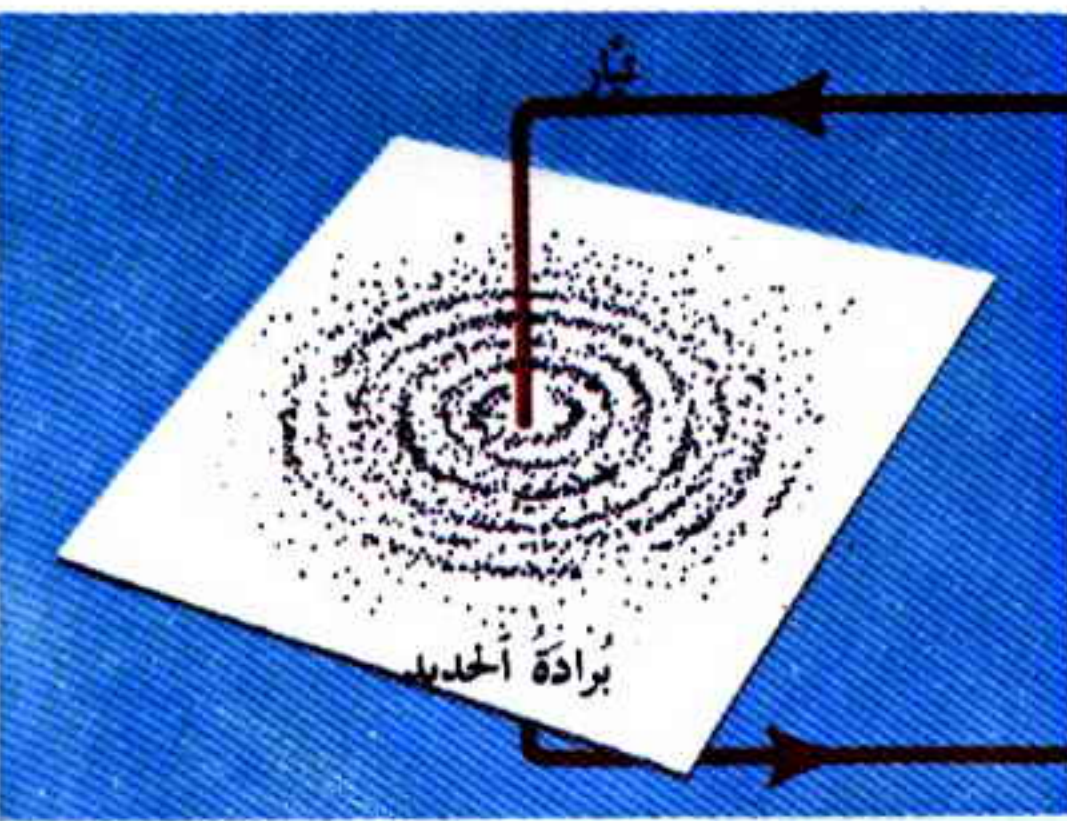
نَموذَجٌ لِلجهازِ الذي استَخدَمَهُ هانز أورستِد لِيُبيِّنَ عَمَليًّا التأثيرَ المِغنَطيسيَّ لِلتيّارِ الكهربائيِّ على إبرَةٍ مِغنَطيسيَّةٍ.

الكَهْرَمِغْنِيطيَّةُ

في العام ١٨٢٠ أجْرَى الدَّانِماركِيُّ هانز أورْستِد تَجْرِبَةً بالِغَةَ الأَهمِّيَّةِ اكْتَشَفَ بِها تأثُّر المِغْنَطيس بِتَيَّارٍ كَهْرَبائيٍّ يَسْري في سِلْكٍ بِقُربِه.

وبإمكانِكَ أَنْ تُجرِيَ هذِهِ التَّجربَةَ بِنَفْسِكَ باستِخدامِ بَطّاريةٍ جُهْدُها ٣ فُلْط وسِلكٍ نُحاسيٍّ وبُوصَلَةِ جَيْبٍ. وَصِّلْ أَحَدَ طَرَفَي السِّلكِ بِقُطْبِ البَطّاريةِ واجعَلِ السِّلكَ يَمُرُّ فَوقَ البُوصَلَةِ وبِمُوازاةِ إبرَتِها ثُمَّ المُسْ قُطبَ البَطّاريّةِ الآخَرَ بِطَرَفِ السِّلكِ السّائبِ ولاحِظ كَيْفَ تُغيِّرُ إبْرَةُ البُوصَلَةِ اتِّجاهَها بِسُرعَة. وعِنْدَ إبْعادِ طَرَفِ السِّلكِ عَنْ قُطبِ البَطّاريَّة تَعُودُ الإبْرَةُ إلى وَضْعِها السّابِقِ. لا تُطِلْ فَترَةَ وَصْلِ البَطّاريّةِ لأنَّ مِثْلَ هذا الوَصْلِ يستَنْفِد طاقَتَها بِسُرعَةٍ.

هذهِ التَّجربَةُ تُبيِّنُ بِوُضوحٍ أنَّ التيّار السّاري يُوَلِّدُ مَجالاً مِغْنَطيسيًّا. إنَّ شَكْلَ هذا المَجالِ مُغايِرٌ لِشكْلِ المجالِ حَوْلَ مِغْنَطيسٍ قَضيبِيٍّ أو نِضْوِيٍّ ولكِنَّ لَهُ الخصائصَ نَفْسَها. والواقِعُ إنَّهُ يُمكِنُ جَعْلُ التيّارِ السّاري في سِلْكٍ يَعْمَلُ تَمامًا كَمِغْنَطيسٍ عادِيٍّ.

لُفَّ عِدَّةَ لَفّاتٍ من السِّلكِ لَولَبيًّا حَوْلَ قلَمِ رَصاصٍ لِتَحْصُلَ على **مِلَفٍّ سِلْكِيٍّ لَولَبيٍّ**. أمْرِرْ في المِلَفِّ تيّارًا واختَبِرْ تأثيرَ كُلٍّ مِنْ طَرَفَي المِلَفِّ على إبْرَةِ البُوصَلَةِ. ستُلاحِظُ أنَّ أَحَدَ طرفَي المِلَفِّ يَجْذِبُ قُطْبَ الإبْرَة الشّماليَّ وأنَّ طَرَفَهُ الآخَرَ يتَنافَرُ مع هذا القُطبِ. يَعْني أنَّ لِلْمِلَفِّ قُطْبًا شَماليًّا وآخَرَ جَنُوبيًّا كَما في قَضيبٍ مِغْنَطيسيٍّ عادِيٍّ.

إعْكِسْ وَصْلَ طَرَفَي المِلَفِّ بالبَطّاريّة ولاحِظْ تأثيرَ تَغَيُّرِ اتِّجاهِ التيّارِ على قُطْبيَّةِ طَرَفَي المِلَفِّ. إنَّ المِغْنَطيسيَّةَ النّاتِجَةَ من التيّارِ الكهربائيِّ تُسمَّى **الكَهْرَمِغْنِيطيَّة**.

والمَعروفُ أنَّ مِغْنَطيسيَّةَ المِلَفِّ اللَّولَبيِّ تَزْدادُ إذا ما لُفَّ حَولَ قِطعةٍ من مادةٍ مِغْنَطيسيَّةٍ تُسمَّى حينئذٍ **القَلْبَ**. فإذا لَفَفْتَ عِدَّةَ لَفّاتٍ من السِّلكِ المَعزولِ حَولَ مِسْمارٍ فُولاذيٍّ كَبيرٍ ووَصَلْتَ طَرَفَي المِلَفِّ بِبَطّاريّةٍ تَحصُلُ على مَجالٍ مِغنَطيسيٍّ قَويٍّ. والمِغْنَطيسُ الذي هُوَ من هذا النوعِ يُسَمَّى **مِغْنَطيسًا كَهْرَبيًّا**.

ولَعَلَّكَ إذا قَطَعْتَ التيّارَ عَنِ المِلَفِّ (بِفَصْلِ السِّلكِ عن البطّاريّة) تَجدُ أنَّ المِسمارَ لا يَزالُ يَعمَلُ كَمِغْنَطيسٍ. إنَّهُ يكونُ حِينَئذٍ قَدْ تَمَغْنَطَ بتأثيرِ التيّارِ الكهربائيِّ وهذا النَّوعُ مِنَ المَغانِطِ يُسَمَّى **مِغنَطيسًا دائمًا**.

لكِنَّكَ إذا استَخْدَمْتَ بَدَلَ الفُولاذِ قَلْبًا مِنَ الحَديدِ المُطاوعِ فإنَّكَ تُلاحِظُ أنَّ المِغْنَطيسيَّةَ تتَلاشى حالَما يَنْقَطِعُ

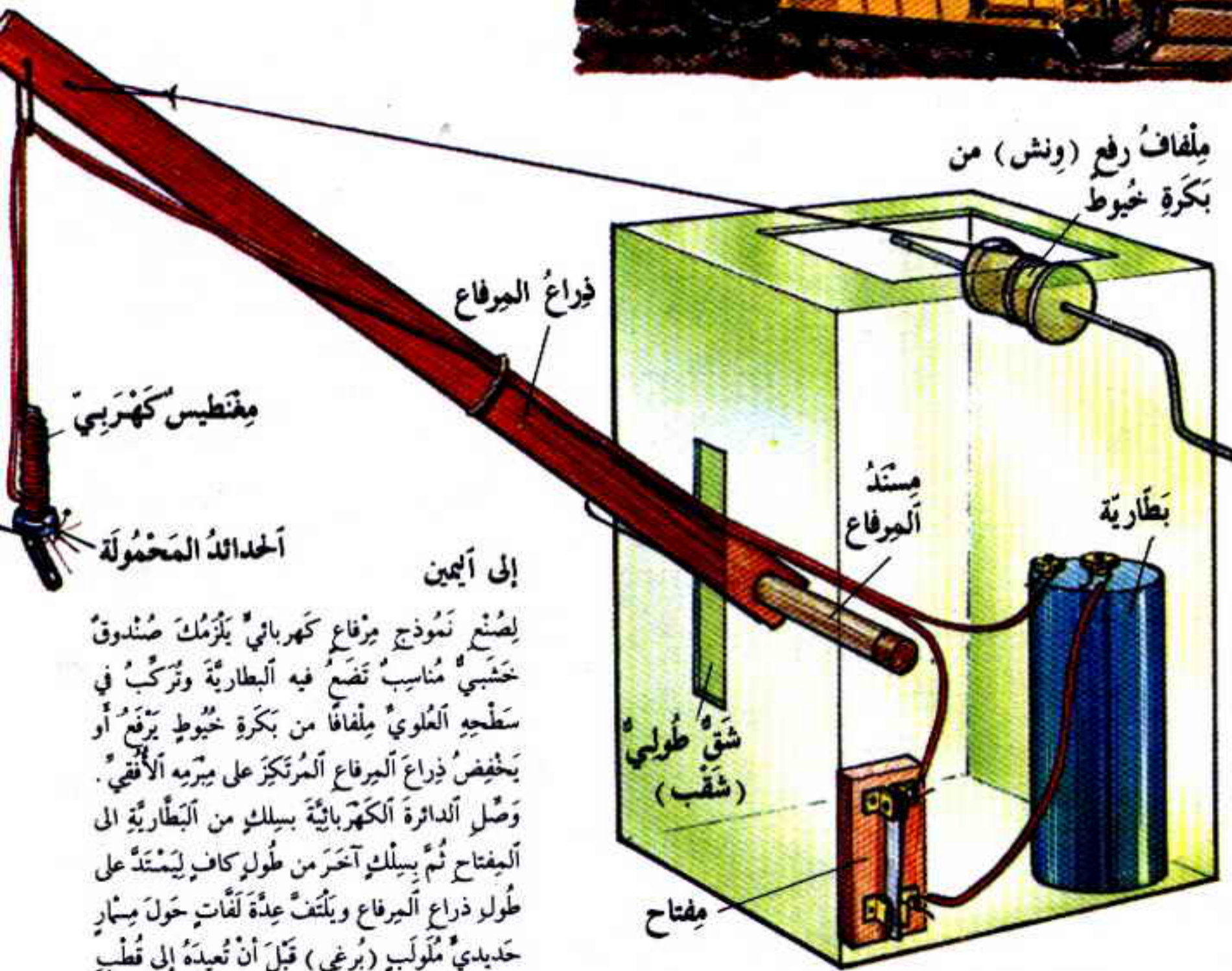
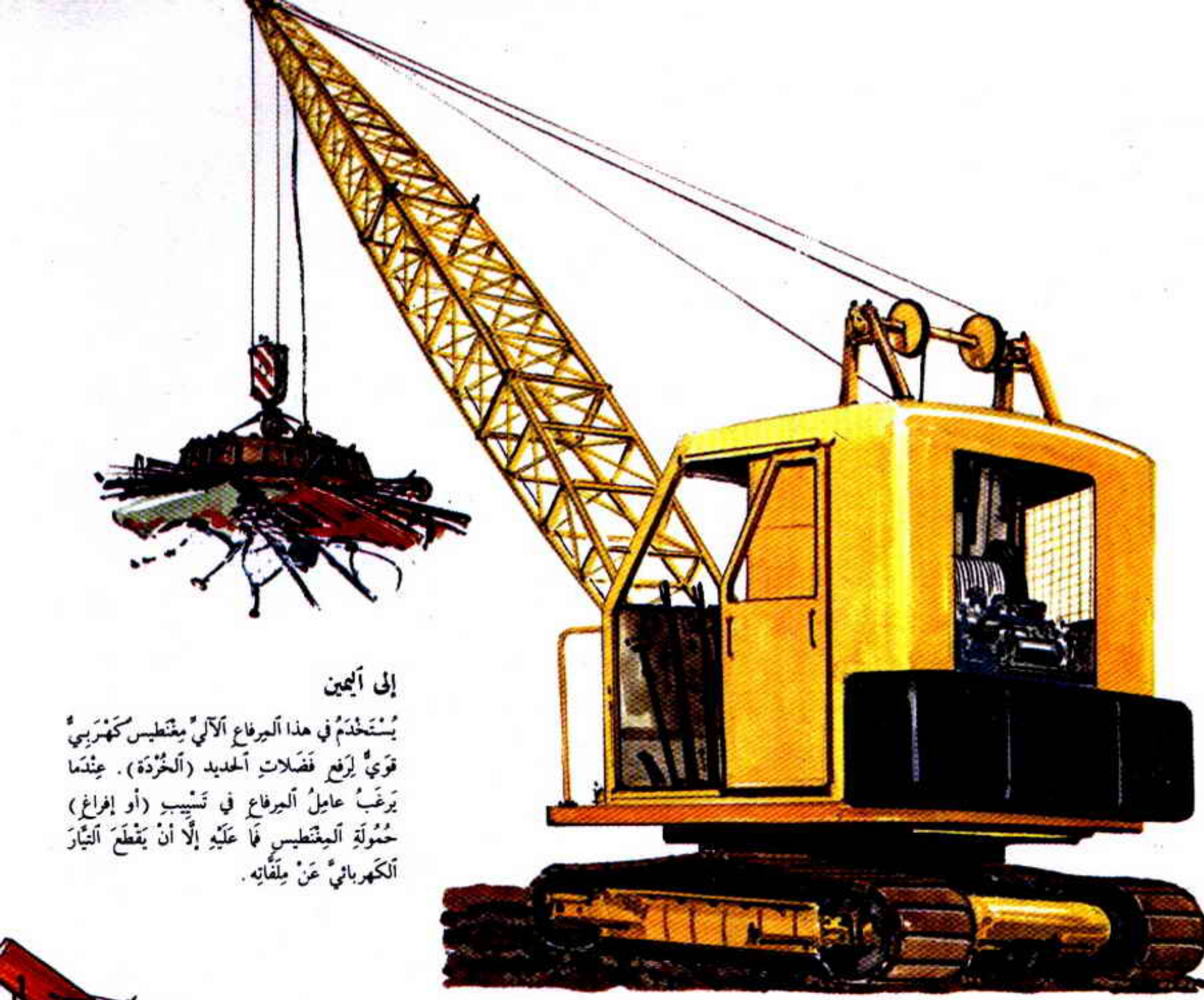
إلى اليمين

يُمكِنُ استِخْدامُ بُرادةِ الحديدِ لِبيانِ المَجالِ المِغْنَطيسيِّ حَوْلَ سِلكٍ مُنفرِدٍ. ويَتطلَّبُ نَجاحُ هذهِ التَّجرِبَةِ استِخدامَ تيَّارٍ قويٍّ، لِذا لا يُمكِنُكَ إجراؤُها بِبَطَّاريَّةٍ صَغيرَةٍ.

إلى اليمين

يُسَمَّى المِلَفُّ من هذا النَّوعِ مِلَفًّا لَولَبيًّا. وبِاستِطاعَتِكَ صُنعُ مِغنَطيسٍ كَهرَبيٍّ جيِّدٍ بِلَفِّ عِدَّةِ لَفَّاتٍ من السِّلكِ المَعْزولِ حَولَ قَلبٍ حَديديٍّ. لاحِظْ أنهُ كلَّما ازدادَتْ لَفَّاتُ المِلَفِّ ازدادَتْ قُوَّةُ المِغنطيسِ.

إلى اليمين

يُستَخدَمُ في هذا المِرفاعِ الآليِّ مِغنَطيسٌ كَهْرَبيٌّ قَوِيٌّ لِرَفعِ فَضَلاتِ الحديدِ (الخُرْدَة). عِندَما يَرغَبُ عامِلُ المِرفاعِ في تَسْييبِ (أو إفراغِ) حُمُولَةِ المِغنَطيسِ فَما عَلَيهِ إلَّا أنْ يَقطَعَ التَّيارَ الكَهربائيَّ عَنْ مِلَفَّاتِهِ.

إلى اليمين

لِصُنعِ نَمُوذجِ مِرفاعٍ كَهربائيٍّ يَلزَمُكَ صُندوقٌ خَشَبيٌّ مُناسِبٌ تَضَعُ فيه البطاريَّةَ وتُرَكِّبُ في سَطْحِهِ العُلويِّ مِلفافًا من بَكَرةِ خُيوطٍ يَرفَعُ أو يَخفِضُ ذِراعَ المِرفاعِ المُرتَكِزَ على مِبرَمِهِ الأُفُقيّ. وَصِّلِ الدائرةَ الكَهرَبائيَّةَ بِسِلكٍ من البَطَّاريَّةِ الى المِفتاحِ ثُمَّ بِسِلكٍ آخَرَ من طُولٍ كافٍ لِيَمتَدَّ على طُولِ ذِراعِ المِرفاعِ ويَلتَفَّ عِدَّةَ لَفَّاتٍ حَولَ مِسمارٍ حَديديٍّ مُلَولَبٍ (بُرغي) قَبلَ أنْ تُعيدَهُ إلى قُطبِ البَطَّاريَّةِ الآخَر. عِندَ إغلاقِ الدائرةِ بالمِفتاحِ يَسري التَّيارُ ويَتمَغنَطُ المِسمارُ (المِغنَطيسُ الكهربيُّ) ويَلتَقِطُ فَضَلاتِ الحديدِ.

إلى اليمين

يُستَخدَمُ هذا المِغنَطيسُ الكَهْرَبيُّ القَوِيُّ لاستِخراجِ شَظِيَّةٍ فُولاذيَّةٍ منْ عَيْنِ أحَدِ العُمَّال.

سَرَيانُ التيَّار. إنَّ إجراءَ هذهِ التَّجْرِبَةِ لَيسَ مَيْسُورًا دائمًا إذْ مِنَ الصَّعْبِ الحُصولُ على حَديدٍ كامِلِ المُطاوِعيَّة. وقَدْ يمكُنُكَ الحُصولُ على قِطعَةٍ منَ الحَديدِ المُطاوِعِ بِتَسْخينِ مِسْمارٍ حَديديٍّ إلى دَرَجَةِ الاحمِرارِ وتَرْكِهِ يَبْرُدُ بِبُطءٍ. الحَديدُ المُطاوِعُ لا يَحتَفِظُ بِمِغنَطيسيَّتِهِ كالفُولاذِ، إنَّهُ مِغنَطيسٌ مُؤَقَّت.

هُنالِكَ استِخداماتٌ عَديدةٌ لِلمِغنَطيساتِ الكَهْرَبيَّةِ، فَهِيَ تُستَخدَمُ في الأجراسِ الكَهربائيَّةِ ومُكبِّراتِ الصَّوتِ والمُحرِّكاتِ الكَهربائيَّةِ والمُوَلِّداتِ وغَيرِها.

إنَّ مَعْرِفَتَنا لِقُدْرَةِ التيَّارِ الكَهربائي على تَوليدِ مَجالٍ مِغنَطيسيٍّ تَجعَلُنا نَتوَصَّلُ إلى إدراكِ مَصْدَرِ المِغنَطيسيَّةِ في المِغنَطيساتِ الدائمةِ. فَفي القِطعَةِ منَ المادَّةِ المِغنَطيسيَّةِ تعمَلُ الذرّاتُ نفسُها كَمِغنَطيساتٍ دَقيقةٍ (أُنظر صفحة ١٧٥).

والتيّارُ الكَهربائيُّ في سِلكٍ هُوَ عِبارَةٌ عن سَرَيانِ سَيْلٍ منَ الإلِكتروناتِ فيهِ – فالمجالُ المِغنَطيسيُّ يتكَوَّنُ بِحَرَكَةِ الإلِكترونات. ونَحنُ نَعلَمُ كَذلكَ أنَّ الذرّاتِ تَحوي إلِكتروناتٍ مُتحرِّكةً، وهذا يَدْعُونا إلى استِنْتاجِ أنَّ مِغنَطيسيَّةَ المَغانِطِ الدائمةِ مُسبَّبَةٌ عن حَرَكَةِ الإلِكتروناتِ في ذَرَّاتِها.

اَلْحَثُّ اَلْكَهْرَمِغْنيطِيُّ

بَعْدَما بَيَّنَ أُورْستِد قُدْرَةَ اَلتَّيَّارِ اَلْكَهْرَبائِيِّ على تَوليدِ مَجالٍ مِغْنَطيسِيٍّ ، بَدَأَ اَلْعُلَماءُ يَتَساءَلُونَ حَوْلَ إِمكانيَّةِ اَستِخْدامِ اَلْمَجالِ اَلْمِغْنَطيسِيِّ لِتَوليدِ تيَّارٍ كَهْرَبائِيٍّ . وقَدْ جَرَتْ مُحَاوَلاتٌ كَثيرَةٌ في هذا اَلسَّبيلِ لكِنَّها لم تُحَقِّق نَجاحًا يُذْكَرُ حَتَّى بَدَأَ مايْكِل فارادي في اَلثَّلاثينِيَّات من اَلقَرْنِ اَلماضِي تَجارِبَهُ بِالْمَغانِطِ والمِلَفَّات .

وكانَ لا بُدَّ مِن اَستِخْدامِ وَسيلَةٍ ما لِلْكَشْفِ عَنِ اَلتَّيَّارِ الكَهْرَبائي ، فكَانَ **الغَلْفانُومِتْر** أَوَّلَ جِهازٍ اَستُخدِمَ لِهذا اَلغَرَضِ . يَتَأَلَّفُ اَلغَلْفانُومِتْر بِبَساطَةٍ من مِلَفٍّ عَمُودِيٍّ مُسَطَّحٍ كَثيرِ اَللَّفَّاتِ وبِداخِلِهِ بُوصَلَةٌ . فَعِنْدَ مُرورِ تيَّارٍ في اَلمِلَفِّ يَتوَلَّدُ مَجالٌ مِغْنَطيسِيٌّ يُؤثِّرُ في اَتِّجاهِ إِبْرَةِ اَلبُوصَلَة .

وفي إِحْدَى تَجارِبِه ، وَصَلَ فارادِي مِلَفًّا لَولَبِيًّا كَبيرًا بِغَلْفانُومِتْر . ولاحَظَ أَنَّ وَضْعَ قَضيبٍ مِغْنَطيسِيٍّ قُرْبَ اَلمِلَفِّ لا يُحدِثُ تأثيرًا في إبرةِ اَلغَلْفانُومِتر ، يَعني أنَّ ذلك لا يُوَلِّدُ فيه أيَّ تيَّارٍ . لكِنْ عِنْدَ دَفْعِ اَلمِغْنَطيسِ داخِلَ لَفَّاتِ اَلمِلَفِ تتحَرَّكُ إِبْرَةُ الغلفانومتْر قَليلاً ثُمَّ تَستَعيدُ وَضْعَها اَلأَصْلِي ، وكَذلِكَ عِنْدَ سَحْبِ اَلمِغْنَطيسِ مِنْ مِلَفِّ اَلغَلْفانُومِترِ تتحَرَّكُ اَلابرةُ في اَتِّجاهٍ مُعاكِسٍ . وبِذلكَ تَحقَّقَ فارادِي أَنَّ تيَّارًا كَهربائيًّا يَتوَلَّدُ في مِلَفِّ اَلغَلْفانُومِتْر في أَثْناءِ تحرُّكِ المِغْنَطيس ، وأَنَّ اَتِّجاهَ التيَّارِ اَلمُتوَلِّدِ يَعْتَمِدُ على اَتِّجاه حَرَكَةِ اَلمِغْنَطيس . وَقَد سُمِّيَتْ هذه اَلظَّاهِرَةُ **اَلحَثَّ اَلكَهْرَمِغْنيطِيَّ** ، لِأَنَّ اَلمِغْنَطيسَ المُتَحرِّكَ يَستَحِثُّ في اَلمِلَفِّ تيَّارًا كَهربائيًّا .

لَقد كانَ ذلِكَ اَكْتِشافًا بالِغَ الأَهَمِّيَّة . فَحتَّى ذلِكَ اَلتَّاريخِ كانَتِ التيَّاراتُ اَلكَهربائيَّةُ تُوَلَّدُ مِنَ اَلبَطَّاريات فقَطْ ، وإذا باكتِشافِ فارادي يَفْتَحُ آفاقًا جَديدةً لِتَحويلِ اَلطاقَةِ اَلحَرَاكِيَّةِ (اَلميكانيكِيَّةِ) إلى طاقَةٍ كَهْرَبائِيَّةٍ .

فمَثلاً بِتَحريكِ قَضيبٍ مِغْنَطيسي باَستِمرارٍ داخِلَ وخارِجَ مِلَفٍّ سِلْكِيٍّ يَسْري تيَّارٌ كَهربائيٌّ باتِّجاهٍ تارَةً ثُمَّ باتِّجاهٍ مُعاكِسٍ تارةً أخرى . يَعني أَنَّ ذلِكَ يُوَلِّدُ تيَّارًا مُتَناوِبًا . وباَستِخدامِ مُحَرِّكٍ آلِيٍّ لِتَحريكِ اَلمِغْنَطيس يَتِمُّ اَلحُصُولُ على مُوَلِّدٍ كَهربائِيٍّ .

إِنَّ تَغَيُّرَ اَلمجالِ اَلمِغْنَطيسِيِّ عِنْدَ تَحريكِ اَلمِغْنَطيسِ هُوَ اَلذي يَسْتَحِثُّ اَلتَّيَّارَ اَلكَهربائِيَّ ، لِذلِكَ يُمكنُ اَلحُصولُ على اَلتأثيرِ نَفْسِهِ إذا ما تَحرَّكَ اَلسِّلْكُ (أو اَلمِلَفُّ) عَبْرَ مَجالٍ مِغْنَطيسِيٍّ . فَفي اَلحالتَيْنِ يَقْطَعُ اَلمُوَصِّلُ خُطوطَ اَلقُوَّةِ (خُطوطَ اَلمجالِ اَلمِغْنَطيسِيِّ) .

وقَدْ أَجْرَى فارادي أَيْضًا تَجارِبَ حَولَ مَعكُوسِ ظاهِرةِ اَلحَثِّ اَلكَهْرَمِغْنيطِيِّ ، فَلاحَظَ أَنَّهُ إذا وُضِعَ سِلْكٌ في مَجالٍ مِغْنَطيسِيٍّ وأُمِرَّ فيه تيَّارٌ فإنَّ اَلسِّلكَ يَتَحَرَّكُ . يَعْني أنَّ قُوَّةً مُحَرِّكَةً تَتَوَلَّدُ بِتأثيرِ اَلتيَّارِ والمَجالِ اَلمغنطيسيِّ . وهكَذا نَرى أَنَّه إذا تحرَّكَ سِلْكٌ في مَجالٍ مِغْنَطيسي يتوَلَّدُ فيه تيَّارٌ ، وهذا اَلمَبدأُ يُسْتَخْدَمُ في تَوليدِ اَلكَهْرَباءِ (اُنظُر صَفحة ١٨٢) . وأَنَّه إذا وُضِعَ سِلْكٌ يَحمِلُ تيَّارًا في مَجالٍ مِغْنَطيسيٍّ فإِنَّ ذلكَ يُوَلِّدُ قُوَّةً تُحَرِّكُ اَلسِّلكَ ، وهذا اَلمَبدأُ يُسْتَخْدَمُ في صُنْعِ اَلمُحَرِّكاتِ اَلكَهْرَبائيَّةِ (انظر صفحة ١٨٤) .

إلى اَليَسارِ

يَحْدُثُ اَلحَثُّ اَلكَهْرَمِغْنيطِيُّ عِنْدَما يَتَحَرَّكُ اَلمُوَصِّلُ عَبْرَ مَجالٍ مِغْنَطيسِي . وتُسْتَخْدَمُ اَلظَّاهِرَةُ اَلمُعاكِسَةُ لِهذا التأثيرِ في صُنْعِ اَلمُحَرِّكاتِ اَلكَهربائيَّة – إذ إنَّ إمْرارَ تيَّارٍ كَهربائيٍّ في سِلْكٍ ضِمْنَ مَجالٍ مِغْنَطيسيٍّ يُوَلِّدُ قُوَّةً تُحَرِّكُ السِّلْكَ .

إلى اَليمين

في اَلغَلْفانُومِتْرِ اَلبَسيطِ يَسْري تيَّارٌ عبْرَ اَلمِلَفِّ المُسَطَّحِ فيُوَلِّدُ مَجالاً مغنَطيسيًّا . وهذا اَلمَجالُ يُسَبِّبُ اَنحِرافًا في اَتجاه إبرةِ اَلبُوصَلَةِ يُكْشَفُ بِهِ عَنْ وُجودِ التيَّارِ .

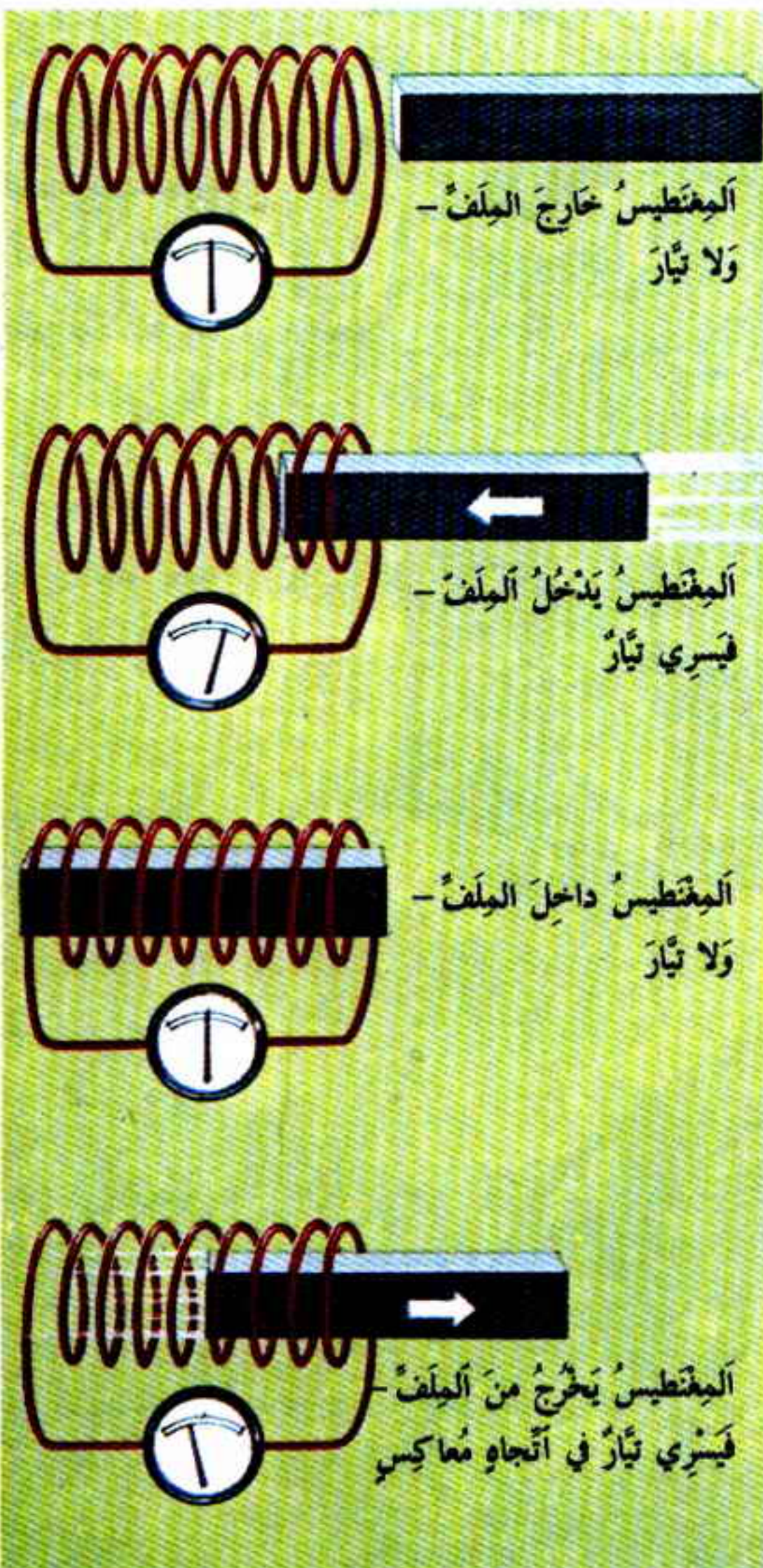
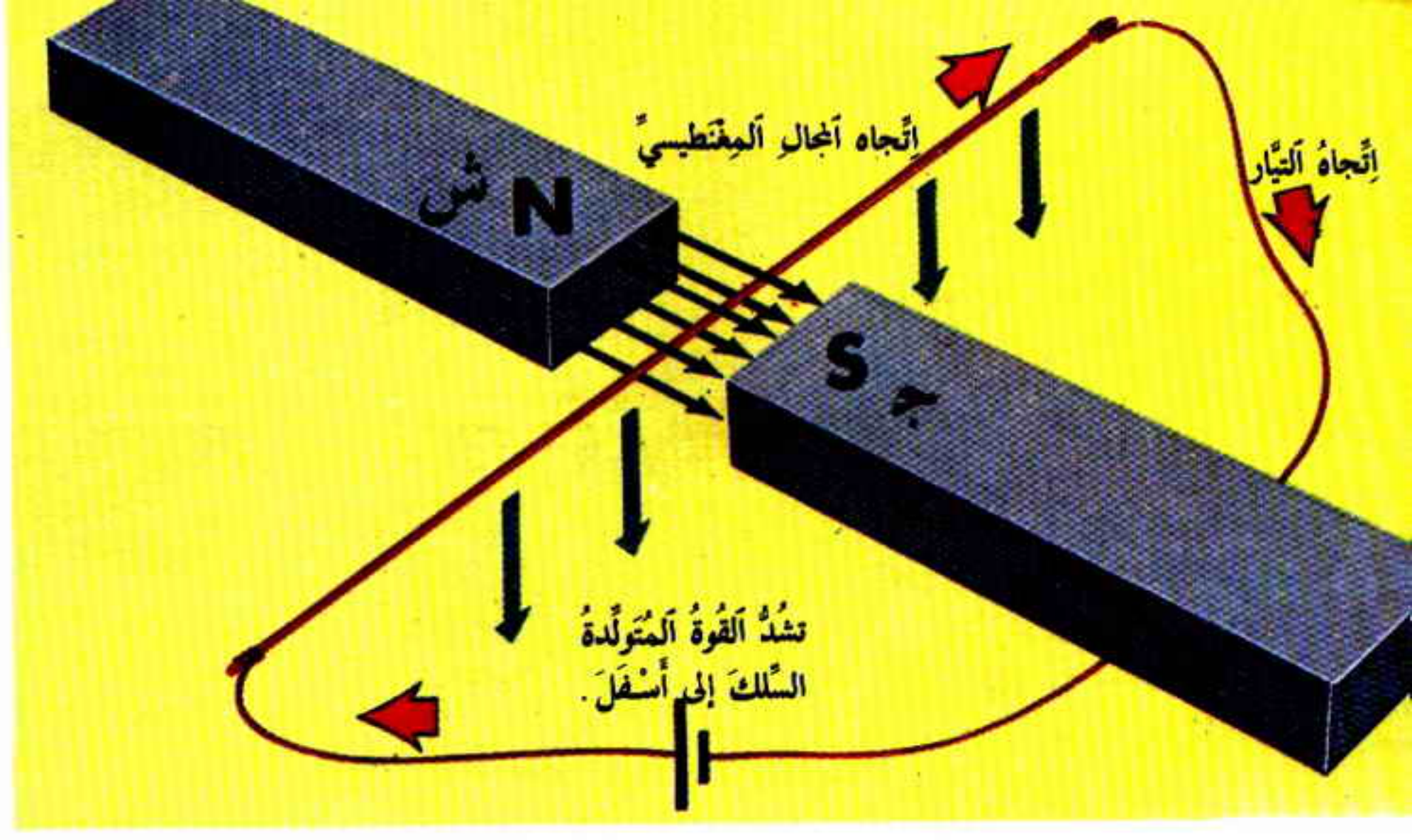
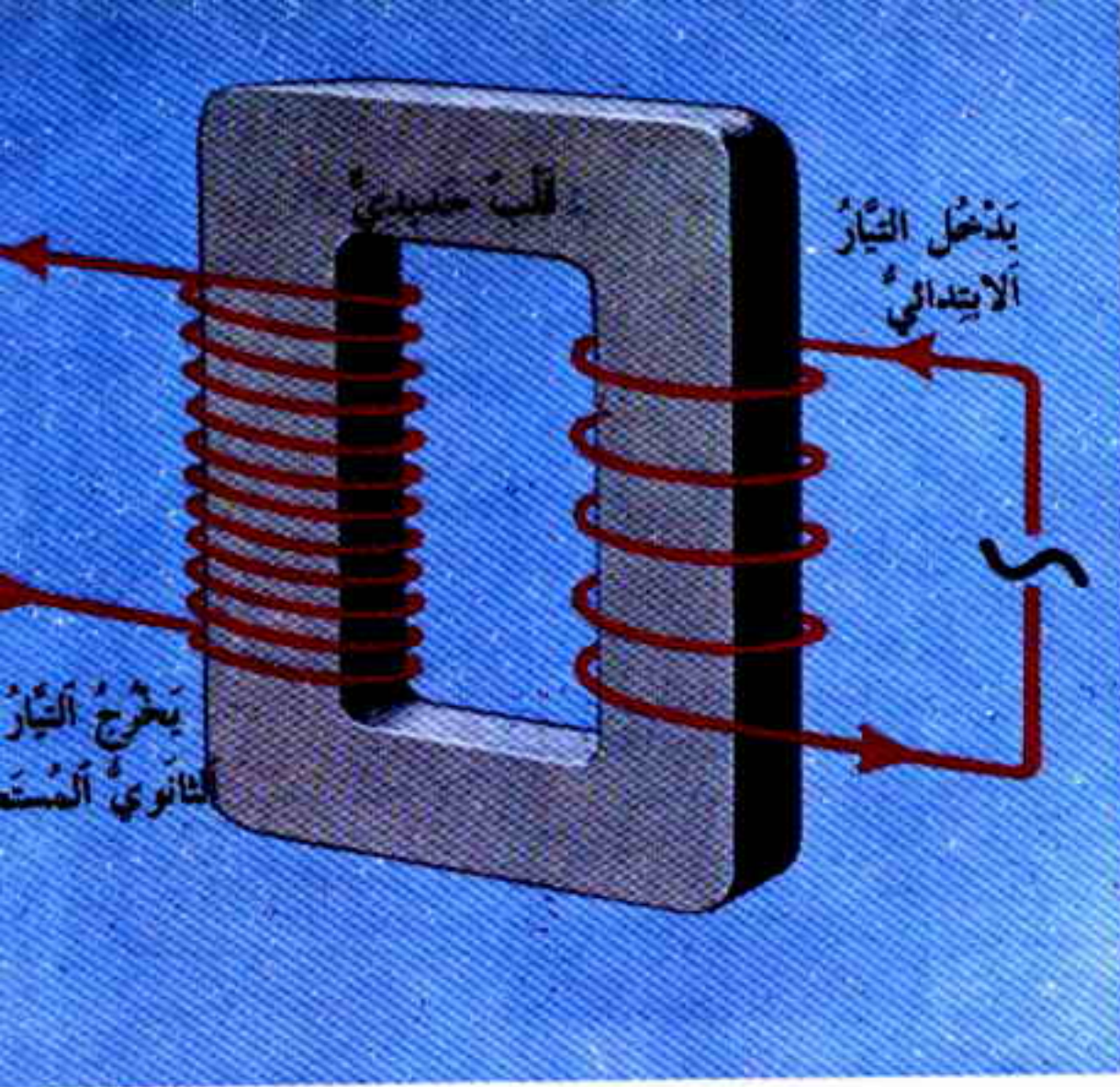
إلى اَليمين

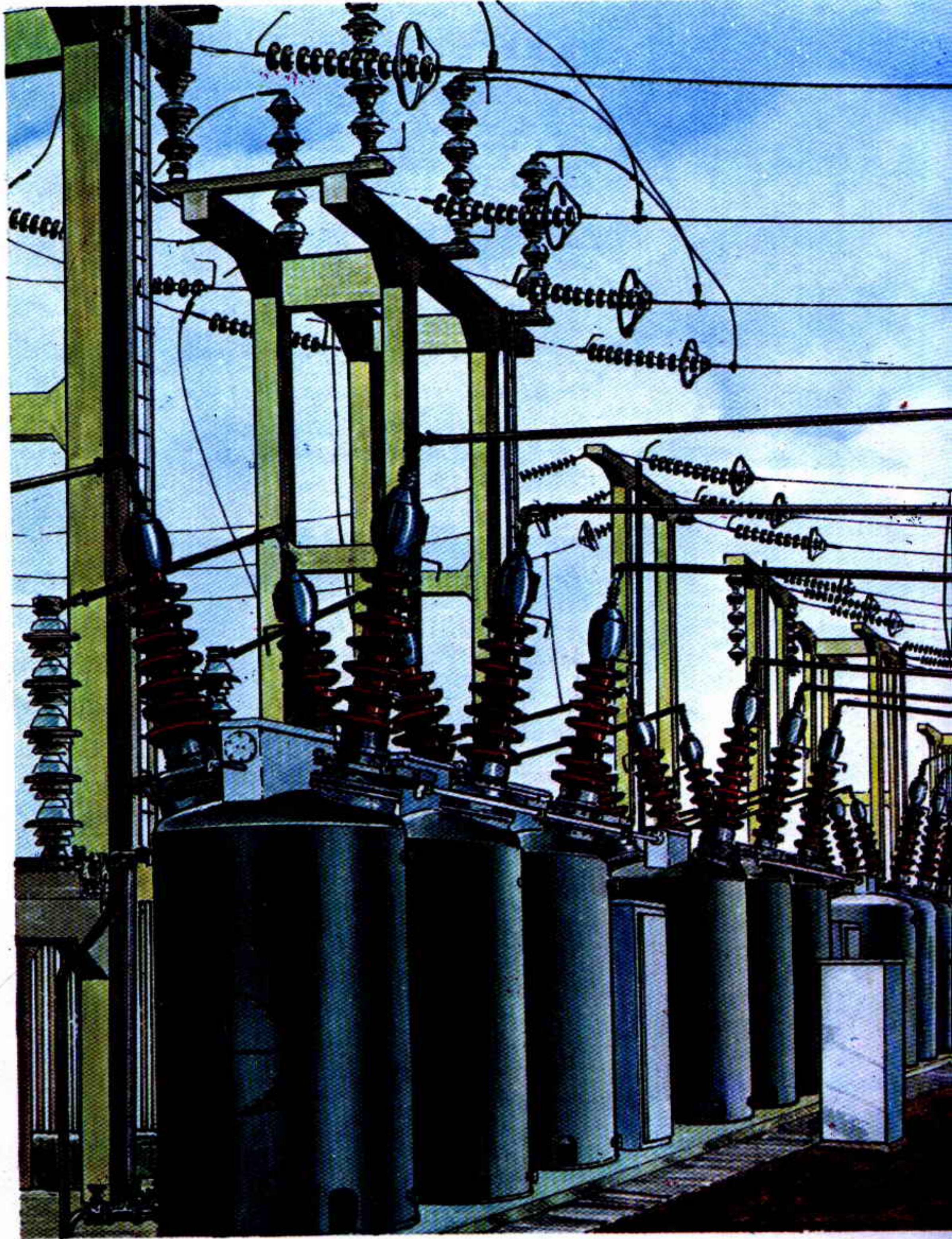
عِندَما يَتَحَرَّكُ اَلمِغْنَطيسُ إلى داخِلِ اَلمِلَفِّ تَتَحَرَّكُ إبرةُ اَلغَلْفانُومِتْر في اَتِّجاهٍ مُعَيَّنٍ ، وعِنْدَما يُسْحَبُ اَلمِغْنَطيسُ خارِجَ اَلمِلَفِّ تَتَحَرَّكُ اَلابرةُ في اَتِّجاهٍ مُعاكِسٍ . ويَسْري اَلتيَّارُ فَقَطْ في أَثناء تَحَرُّكِ اَلمِغْنَطيسِ .

ماكْسويل

فَوْق

جيمْس كلارْك ماكْسويل (١٨٣١ - ١٨٧٩) عالِمٌ اسكُتْلَنْديٌّ بَرَعَ في اَلفيزياء وَالرِّياضِيَّات . وقَدْ قَدَّمَ نَظَرِيَّةً رياضِيَّةً في اَلمَجالاتِ اَلكَهْرَمِغْنيطيَّةِ وبَيَّنَ أنَّ اَلضَّوءَ هُوَ أَمواجٌ كَهرمِغْنيطِيَّةٌ .

فَوْق

تَعْمَلُ ٱلْمُحَوِّلاتُ أَيْضًا بِٱلحَثِّ ٱلكَهْرَمِغْنِيطِيِّ. وهيَ تُسْتَخْدَمُ لِتَحويلِ ٱلتَّيَّارِ المُتَناوِبِ مِنْ فُلْطِيَّةٍ إلى أُخرى. يَمُرُّ ٱلتَّيَّارُ ٱلمُرادُ تَحويلُهُ في ٱلمِلَفِّ ٱلأَوَّلِ فَيُوَلِّدُ تَناوُبُه مَجالاً مِغْنَطيسيًّا مُتَناوِبًا (مُتَزايِدًا ومُتَناقِصًا)، وهذا يَسْتَحِثُّ تَيَّارًا في ٱلمِلَفِّ ٱلثاني ٱلذي بِه عَدَدٌ مُغايِرٌ من ٱللَّفَّاتِ. وتكُونُ نِسبَةُ فُلْطِيَّةِ ٱلتَّيَّارِ ٱلمُتناوِبِ في ٱلمِلَفِّ الأَوَّلِ إلى فُلْطِيَّةِ ٱلتَّيَّارِ المُسْتَحَثِّ في ٱلمِلَفِّ الثاني كَنِسْبَةِ لَفَّاتِ ٱلمِلَفِّ الأَوَّلِ إلى الثاني. وهذا يَعْني أَنَّ تَغَيُّرَ ٱلفُلْطِيَّةِ ناشِئٌ عن تَغايُرِ عَدَدِ اللَّفَّات في ٱلمِلَفَّيْنِ.

إلى ٱليَمين

تُسْتَخْدَمُ هذِهِ ٱلمُحَوِّلاتُ ٱلضَّخْمَةُ في مَحَطَّاتِ تَوليدِ ٱلطَّاقَةِ الكهربائيَّة وتَوزيعِها. في هذه المُحَوِّلاتِ يُلَفُّ ٱلمِلَفَّانِ ٱلأول وٱلثاني حَوْلَ ٱلقَلْبِ ٱلحَديديِّ نَفْسِهِ. إذا كانَتْ لَفَّاتُ ٱلمِلَفِّ ٱلأولِ أكثَر من لَفَّاتِ ٱلثاني يُسَمَّى ٱلمُحَوِّلُ مُحَوِّلَ خَفْض (ٱلفلطيَّة)، أمَّا إذا كانَتْ لَفَّاتُ المِلَفِّ ٱلثّاني أكثَرَ فَٱلمُحَوِّلُ مُحَوِّلُ رَفْعٍ.

اَلمُوَلِّداتُ ٱلكَهرَبائِيَّةُ

هُنالِكَ طَرِيقَتانِ رَئِيسِيَّتانِ لِلْحُصولِ عَلى ٱلتَّيَّارِ ٱلكَهْرَبائِيِّ، أُولاهُما تَوليدُهُ في بَطَّارِيَّةٍ مِنْ تَفاعُلاتٍ كِيماوِيَّةٍ وٱلثَّانِيَةُ إِنتاجُه بِٱلتَّأْثيرِ أَو ٱلحَثِّ ٱلكَهْرَمِغْنِيطِيِّ بِٱسْتِخْدامِ آلَةٍ تُدَوِّرُ مِلَفًّا في مَجالٍ مِغْنَطيسِيٍّ (أَو تُدَوِّرُ مِغْنَطيسًا في مِلَفٍّ سِلْكِيٍّ). وهذِهِ ٱلآلَةُ تُسَمَّى **مُوَلِّدًا كَهرَبائِيًّا** (وٱلصَّغيرُ مِنها يُسَمَّى أَحيانًا **دِينامُو**).

وقَد ٱكْتَشَفَ فارادِي مَبْدَأَ ٱلمُوَلِّدِ ٱلكَهرَبائِيِّ حِينَ بَيَّنَ أَنَّهُ إذا تحَرَّكَ سِلْكٌ مُوَصِّلٌ عَبْرَ مَجالٍ مِغْنَطيسِيٍّ يَتَوَلَّدُ في ٱلسِّلْكِ تيَّارٌ كَهْرَبائِيٌّ.

وأَسْهَلُ طَريقَةٍ لِتَطْبيقِ هذا ٱلمَبْدَإِ عَمَلِيًّا هِيَ تَدْويرُ مِلَفٍّ سِلْكِيٍّ بَيْنَ قُطْبَي مِغْنَطيسٍ دائِمٍ. وهذا في ٱلواقِعِ هُوَ ما فَعلَهُ فارادي عام ١٨٣١. ولَيْسَ مِنَ ٱلمُبالَغَةِ ٱلقَوْلُ إنَّ نَمَطَ حضارَتِنا ٱلحالِيَّةِ وطُرُقَ حَياتِنا ٱلمَعيشِيَّةَ تَعْتَمِدُ إلى حَدٍّ بَعيدٍ على ٱكتِشافِهِ ذلِكَ.

فَبِدُونِ ٱلكَهرباءِ تَنْعَدِمُ وَسائِلُ ٱلحَياةِ ٱلعَصْرِيَّةِ – فَلا إنارةَ ولا تَدْفِئَةَ ولا وسائِلَ نَقْلٍ لِلْمَلايينِ بِٱلقِطاراتِ ٱلكَهرَبائِيَّةِ ولا مَصاعِدَ ولا مَكَناتٍ لِلْمَصانِعِ ولا مِئاتٍ من ٱلأَدواتِ وٱلأَجْهِزَةِ ٱلكَهرَبائِيَّةِ ٱلَّتي نَسْتَخْدِمُها يَومِيًّا.

كانَ أَوَّلَ مُوَلِّداتِ فارادي نَمُوذَجٌ مُخْتَبَرِيٌّ صَغيرٌ يُدارُ بِٱليَدِ. أَمَّا في مَحَطَّاتِ تَوليدِ ٱلقُدرةِ ٱلحديثَةِ فَتُدارُ ٱلمُوَلِّداتُ بِوَسائِلَ ميكانيكيَّةٍ. وفي ٱلمَحَطَّاتِ ٱلَّتي تعْمَلُ بِٱلفَحمِ أَو ٱلزَّيتِ أَو الطاقَةِ ٱلنَّوَوِيَّةِ تُدارُ ٱلمُوَلِّداتُ بِعَنَفاتٍ (تُرْبِينات) بُخارِيَّةٍ (أُنظُرْ صفحة ٢٣٤). وتَتَّصِلُ ٱلتُّربينات مُباشَرَةً بِٱلمُوَلِّداتِ وتُسَمَّى ٱلمَجموعَةُ **مُوَلِّدًا تُرْبِينيًّا**.

وفي ٱلمَحطَّاتِ ٱلكَهرمائِيَّةِ يَجري تَدويرُ ٱلمُوَلِّداتِ

إلى ٱليَمين

إذا دُوِّرَ مِلَفٌ سِلْكِيٌّ في مَجالٍ مِغْنَطيسِيٍّ يَتَوَلَّدُ فيهِ تيَّارٌ، ويتَغَيَّرُ ٱتِّجاهُ ٱلتَّيَّارِ في ٱلمِلَفِّ كُلَّ نِصْفِ دَوْرَةٍ. ويتَبَيَّنُ تَغَيُّرُ الاتِّجاه هذا في ٱلرَّسْمِ ٱلبَيانيِّ ٱلمَوْجِيِّ، فٱلتَّيَّارُ يَبْدَأُ مِنَ ٱلصِّفْرِ صاعِدًا إلى ٱلحَدِّ ٱلأَقصى (أو هابطًا إلى ٱلحَدِّ ٱلأَدْنى) ثُمَّ يَعُودُ إلى ٱلصِّفْرِ في كُلِّ نِصْفِ دَوْرةٍ – وذلِكَ لأَنَّ شِدَّةَ ٱلتَّيَّارِ ٱلمُتَوَلِّدِ تَعْتَمِدُ على عَدَدِ خُطوطِ ٱلقُوَّةِ ٱلمِغنَطيسِيَّةِ ٱلَّتي يَقْطَعُها ٱلمِلَفُّ.

إلى ٱليَسار

كارْل فريدريك غاوْس (١٧٧٧ – ١٨٥٥) عالِمٌ ورياضِيٌّ أَلمانِيٌّ شهير، شَمِلَتِ ٱهتِماماتُه عِدَّةَ مَجالاتٍ وساعَدَتْ حِساباتُه ومُعادَلاتُه عَنِ ٱلمَجالاتِ ٱلمِغْنَطيسِيَّةِ في تَصميمِ ٱلمُوَلِّداتِ ٱلحَديثَةِ. ووَحْدَةُ ٱلحَثِّ ٱلمِغْنَطيسِيِّ، ٱلغاوْسُ، مُسَمَّاةٌ بِٱسمِه.

فارادي

فوق

مايكِل فارادي (١٧٩١ – ١٨٦٧) عالِمٌ بريطانِيٌّ نابِه. قامَ بِٱكتِشافاتٍ مُتَعَدِّدَةٍ في مَجالاتِ ٱلكَهرباءِ وٱلمِغْنَطيسِيَّةِ، وأَجرى دِراساتٍ مُتَعَمِّقَةً في ٱلتَّحليلِ ٱلكَهربائِيِّ.

إلى ٱليمين

قاعِدَةُ ٱليَدِ ٱليُمْنى لِفلمِنْغ هي طَريقَةٌ سَهْلَةُ ٱلتذَكُّرِ لِمَعْرِفَةِ ٱتِّجاهِ سَرَيانِ ٱلتَّيَّارِ ٱلمُتَوَلِّدِ عِنْدما يتَحَرَّكُ مُوَصِّلٌ عَبْرَ مَجالٍ مِغْنَطيسِيٍّ. ٱجْعَلْ أَصابِعَ ٱليَدِ ٱليُمنى ٱلثَّلاثَ، الإبْهامَ وٱلسَّبَّابَةَ وٱلوُسْطى، تَمْتَدُّ مُتَعامِدَةً بَعْضُها مع بَعْضٍ – فإذا دَلَّتِ ٱلإبهامُ على ٱتِّجاهِ ٱلحَرَكَةِ وٱلسَّبَّابَةُ على ٱتِّجاهِ ٱلمَجالِ ٱلمِغْنَطيسِيِّ (من ٱلقُطبِ ٱلشَّماليِّ إلى ٱلجَنوبِيِّ) فإنَّ ٱلوُسْطى تُشيرُ إلى ٱتِّجاهِ ٱلتَّيَّار.

إلى ٱليَمين

تَعْمَلُ ٱلمُوَلِّداتُ في مَحطَّاتِ تَوليدِ ٱلقُدرةِ ٱلكَهربائِيَّةِ بِمَغانِطَ كَهْرَبِيَّةٍ دوَّارةٍ. وتُغَذَّى هذه ٱلمَغانِطُ بِٱلتَّيَّارِ ٱللازِمِ لَها بواسِطَةِ فِرْجَوْناتٍ كَرْبُونِيَّةٍ تُلامِسُ حلقاتِ ٱلانْزِلاقِ. وأَفْضَلِيَّةُ هذِهِ ٱلطَّريقَةِ هِيَ أَنَّها تُمَكِّنُ من تَوليدِ تيَّاراتٍ قَوِيَّةٍ وفُلْطِيَّاتٍ عالِيَةٍ في ٱلمَلَفَّاتِ لٱنْعِدامِ ٱلحاجَةِ إلى ٱلمُلامِساتِ ٱلمُتَحَرِّكَةِ في دائِرةِ ٱلتَّيَّارِ ٱلمُتَوَلِّدِ.

إلى ٱليَسار

تُشَغَّلُ دينامُو ٱلدرَّاجةِ بحَرَكةِ عَجلَةِ ٱلدرَّاجَةِ ٱلخَلْفِيَّةِ عادَةً. فَحينًا تُضْغَطُ عَجلَةُ ٱلتدويرِ ٱلمُضَرَّسَةُ في ٱلدينامُو لِتُماسَّ إطارَ عجلَةِ ٱلدرَّاجَةِ تأخُذُ بالدورانِ مَعَها. ويتَّصِلُ بعَجلَةِ ٱلتَّدويرِ هذه مِغْنَطيسٌ أُسْطُوانِيٌّ دائِمٌ يَدُورُ مَعَها داخِلَ مِلَفِّهِ ويُكتَفَى بسِلْكِ تَوصيلٍ مُنْفَرِدٍ لِلْمِصْباحَيْنِ ٱلخَلْفِيِّ والأَمامِيِّ لأنَّ ٱلدِّينامُو مُؤَرَّضَةٌ بٱتصالِها بهَيْكَلِ ٱلدَّرَّاجَةِ ٱلذي يَعملُ كَنُقطةِ ٱلوَصْلِ ٱلأُخرى في ٱلدائرةِ. وفي بَعْضِ ٱلدرَّاجاتِ تُثَبَّتُ ٱلدِّينامُو في صُرَّةِ (أو قَبٍّ) عَجلَةِ ٱلدرَّاجَة.

بٱلتُّربينات ٱلمائيَّةِ. ولٱعتمادِ هذهِ ٱلمَحطَّاتِ علَى ٱلقُدْرَةِ ٱلمائيَّةِ تُشيَّدُ في مَواقِعِ ٱلشَّلالاتِ ٱلطبيعيَّةِ أو مَساقِطِ ٱلمياهِ ٱلصُّنْعِيَّةِ على مَجاري ٱلأَنْهُرِ. ويُبْنَى لِهذا ٱلغَرضِ سَدٌّ لِحَصْرِ مياهِ ٱلمَسْقَطِ وتحويلِها في أُنْبوبٍ ضَخْمٍ لِتُديرَ بِسُقوطِها إلى ٱلمُستَوى ٱلخَفيضِ تُرْبينًا مائيًّا. ومَجموعةُ ٱلمُوَلِّدِ ٱلتُّربينيِّ على ٱختِلاف أنواعها هيَ وَسيلَةٌ لِتَحْويلِ ٱلطَّاقةِ ٱلميكانيكيَّةِ إلى طاقةٍ كهربائيَّةٍ.

وقَد ٱستَنْبَطَ ٱلعالِمُ ٱلبريطانيُّ جُون فلِمِنْغ قاعِدَةً تُساعِدُ في تَحديدِ ٱتِّجاه ٱلتيَّارِ ٱلمُتَوَلِّدِ في مُوَصِّلٍ عِنْدَما يُحَرَّكُ في مَجالٍ مِغْنَطيسيٍّ، وتُعْرَفُ بِقاعِدَةِ ٱليَدِ ٱليُمْنَى لِفْلِمِنْغ (أُنظُر **كَلام ٱلصُّورةِ** في ٱلصفحة ١٨٢).

وإذا كانَ ٱلمُوَصِّلُ ٱلمُدارُ بهَيْئةِ مِلَفٍّ، فَمِنَ ٱلواضِحِ أنَّ ٱلتيَّارَ سيُغَيِّرُ ٱتِّجاهَه كُلَّ نِصْفِ دَوْرَةٍ. فٱلتيَّارُ ٱلّذي يُنْتِجُه هذا ٱلنَّوعُ مِنَ ٱلمُوَلِّداتِ يَتَغَيَّر من ٱلصِّفْرِ إلى ٱلذُّرْوَةِ في ٱتِّجاهٍ مُعَيَّنٍ ثُمَّ يَنْخَفِضُ إلى ٱلصِّفرِ عِنْدَما يَتَعامَدُ ٱلمِلَفُّ مَعَ ٱلمَجالِ. ثُمَّ يَنعَكِسُ ٱتِّجاهُ ٱلتيَّارِ في ٱلمِلَفِّ ويَبْلُغُ ٱلذُّروةَ في ٱلٱتِّجاهِ ٱلمُعاكِسِ قَبْلَ أَنْ يَعُودَ ثانِيَةً إلى ٱلصِّفْرِ. وهذا ٱلتَّواتُرُ ٱلتَّيَّارِيُّ يُسَمَّى **تَيَّارًا مُتَناوِبًا**. **وٱلتَّرَدُّدُ** هُوَ عَدَدُ ٱلمَرَّاتِ ٱلّتي تَتَكَرَّرُ فيها هذهِ ٱلدَّورةُ في ٱلثانِيَةِ. وٱلتيَّاراتُ ٱلمُوَلَّدةُ في جَميعِ مَحَطَّاتِ تَوليدِ ٱلقُدْرَةِ هيَ تيَّاراتٌ مُتَناوِبَةٌ لأَنَّ فُلْطِيَّةَ هذهِ ٱلتيَّاراتِ يُمكِنُ تَغْييرُها بِسُهولَةٍ بواسِطَةِ مُحَوِّلٍ كَهربائي (أُنظُر صفحة ١٨١).

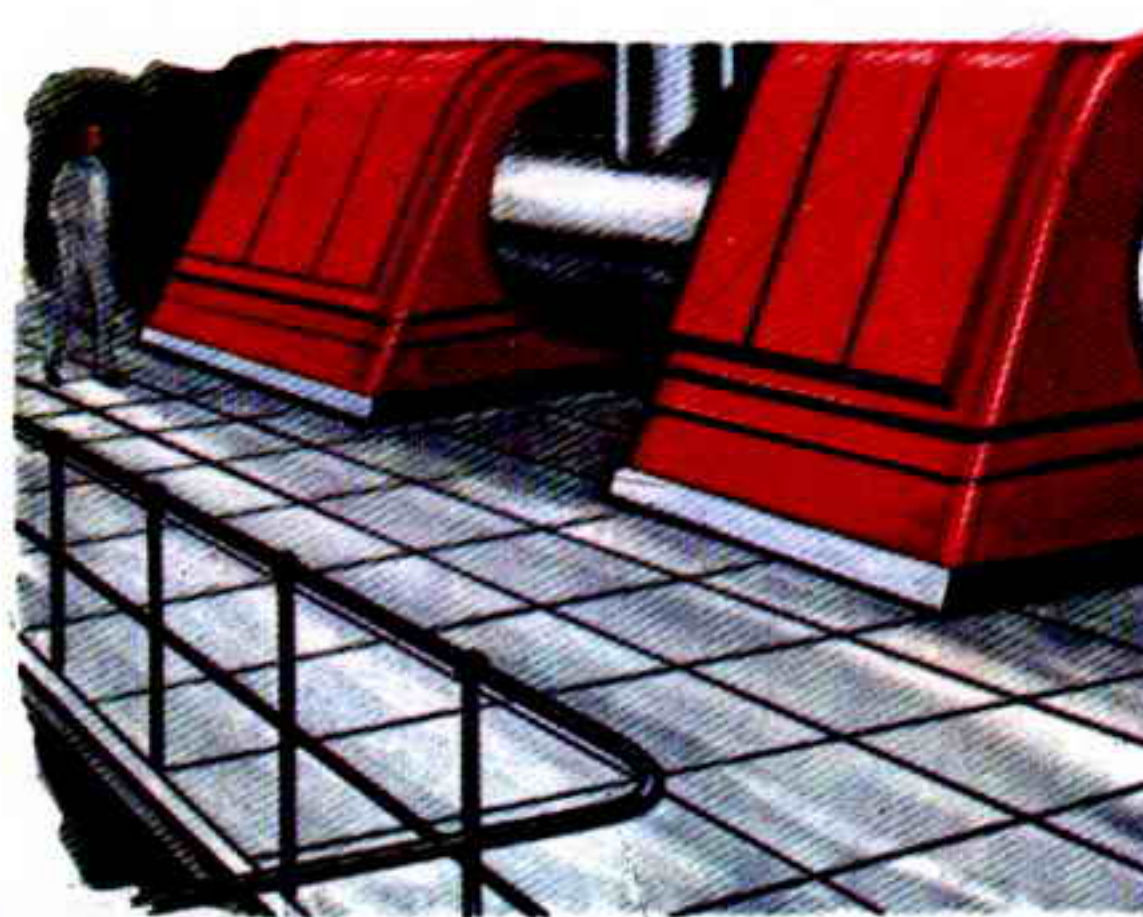
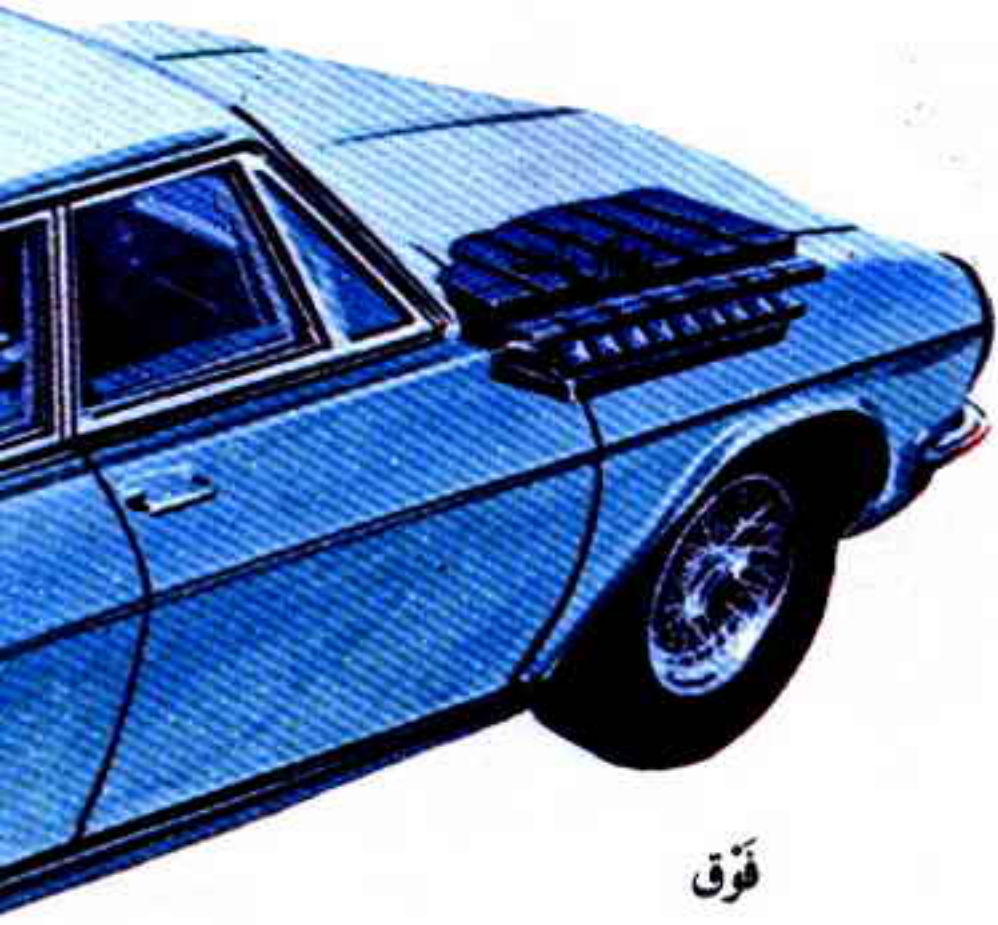
في ٱلمُوَلِّداتِ ٱلصَّغيرةِ كَدِينامُو ٱلدَّرَّاجَةِ مَثلاً يُحْصَلُ على ٱلمجالِ ٱلمِغْنَطيسيِّ مِنْ مِغْنَطيسٍ دائِمٍ، أَمَّا في ٱلمُوَلِّداتِ ٱلضَّخْمَةِ فتُستَخْدَمُ ٱلمَغانِطُ ٱلكَهربيَّةُ وتُدَوَّرُ داخِلَ ٱلمِلَفِّ ٱلسِّلْكِيِّ وَلَيْسَ ٱلعَكْسُ. وٱلتأثيرُ ٱلحاصِلُ هو نَفْسُه، فٱلتيَّارُ في هذه ٱلحالةِ يَتَولَّدُ في ٱلمِلَفِّ ٱلثَّابِتِ (**ٱلعُضْوِ ٱلسَّاكِنِ**) بِتَحريضِ (أو حَثِّ) ٱلمَجالِ ٱلمِغْنَطيسيِّ ٱلمُتَغَيِّرِ ٱلحاصِلِ في ٱلمِغْنَطيسِ ٱلدوَّارِ (**ٱلعُضو ٱلدوَّار**).

فَوْق

حُجْرةُ ٱلمُوَصِّلاتِ في مَحطَّةٍ حَديثةٍ لِتَوليدِ ٱلقُدرةِ ٱلكَهربائيَّةِ. إن أُنبوبَي ٱلبُخارِ ٱلضَّخْمَيْنِ يُغَذِّيانِ ٱلتُّربيناتِ ٱلبُخاريَّةَ ٱلتي تُديرُ ٱلمُوَلِّدَ ٱلظَّاهِرَ في مُقَدِّمَةِ ٱلصُّورةِ.

فَوْق

مُحَرِّكٌ (أَو مُوتُورٌ) حَثِّيٌّ. يُلاحَظُ فِيهِ أَنَّ لَفائِفَ ٱلعُضْوِ ٱلسَّاكِنِ مُطابِقَةٌ ٱلشَّبَهِ تَمامًا لِلَفائِفِ ٱلعُضْوِ ٱلدَّوَّارِ، وتَعْمَلُ ٱللفائِفُ في ٱلحالَيْنِ كَمُحَوِّلٍ. إِنَّ ٱلمَجالَ ٱلمِغْنَطِيسِيَّ ٱلمُحَرَّضَ (أَوِ ٱلمُسْتَحَثَّ) في ٱلعُضْوِ الدَّوَّارِ يَجْعَلُهُ يَدُورُ هُوَ وعَمُودُ ٱلتَّدْوِيرِ ٱلمُتَّصِلُ بِهِ.

فَوْق

لا تَزالُ ٱلسَّيَّارَةُ ٱلكَهْرَبائِيَّةُ في طَوْرِ ٱلاخْتِبارِ مَعَ أَنَّ ٱلمُحَرِّكاتِ ٱلكَهْرَبائِيَّةَ ٱلمُتاحَةَ حالِيًّا جَيِّدَةُ ٱلأَداءِ وَوافِيَةٌ بِٱلغَرَضِ تَمامًا. وَٱلمُشْكِلَةُ هِيَ في إِنْتاجِ بَطّارِيّاتٍ عالِيَةِ ٱلسَّعَةِ ٱلكَهْرَبائِيَّةِ وخَفِيفَةِ ٱلوَزْنِ في آنٍ.

اَلمُحَرِّكاتُ (ٱلمُوتُوراتُ) ٱلكَهْرَبائِيَّةُ

تَعْتَمِدُ ٱلمُحَرِّكاتُ ٱلكَهْرَبائِيَّةُ على ٱلمَبْدَإِ نَفْسِهِ ٱلذي يَعْمَلُ بِمُوجِبِهِ مُوَلِّدُ مايْكِل فارادِي. فَفي ٱلمُوَلِّدِ يُسْتَحَثُّ تَيّارٌ كَهْرَبائِيٌّ في ٱلمُوَصِّلِ بِتَحْرِيكِهِ عَبْرَ مَجالٍ مِغْنَطِيسِيٍّ. أَمّا في ٱلمُحَرِّكِ فَيُمَرَّرُ تَيّارٌ في ٱلمُوَصِّلِ ٱلواقِعِ في مَجالٍ مِغْنَطِيسِيٍّ فَتَنْتُجُ قُوَّةٌ تَعْمَلُ على تَحْرِيكِ ٱلمُوَصِّلِ. وَٱلطَّرِيقَةُ ٱلأَسْهَلُ لِتَطْبِيقِ هذا ٱلمَبْدَإِ عَمَلِيًّا هي هُنا أَيضًا، كَما في ٱلمُوَلِّدِ، جَعْلُ ٱلمُوَصِّلِ بِهَيْئَةِ مِلَفٍّ سِلْكِيٍّ ووَضْعُهُ بَيْنَ قُطْبَي مِغْنَطِيسٍ.

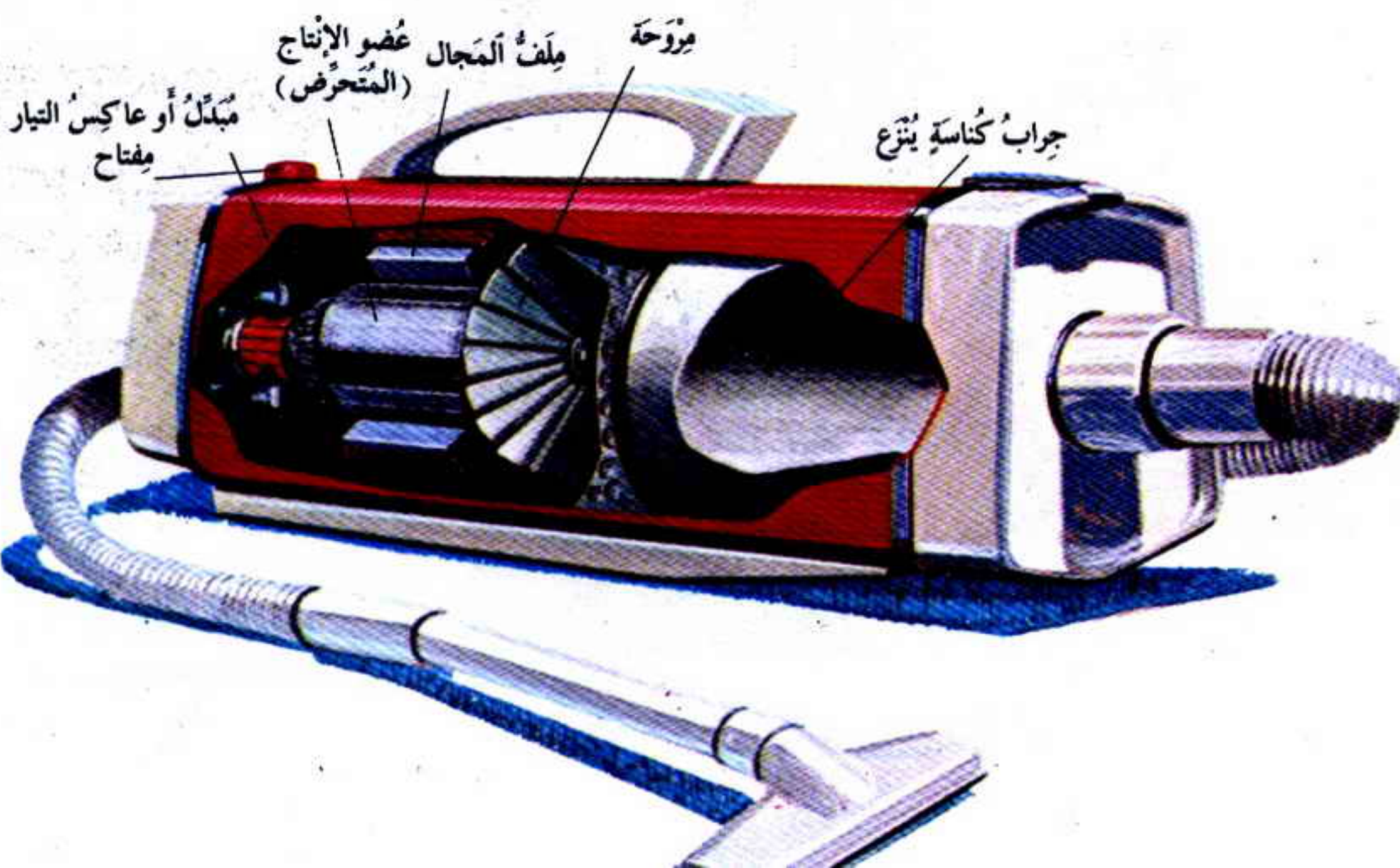
يُمكِنُكَ صُنْعُ مُحَرِّكٍ كَهْرَبائِيٍّ بَسِيطٍ بِسُهُولَةٍ من فَلِّينَةٍ كَبِيرَةٍ وكَمِّيَّةٍ من ٱلسِّلْكِ ٱلدَّقِيقِ ٱلمَعْزُولِ وإِبْرَةِ حِياكَةٍ وبَعْضِ ٱلدَّبابِيسِ ٱلقَوِيَّةِ وقَضِيبَيْ مِغْنَطِيسٍ صَغِيرَيْنِ. ولِتَحْقِيقِ دَوَرانِ ٱلمُحَرِّكِ يَنْبَغِي إِمْدادُ ٱلمِلَفِّ بِالتَّيّارِ بِواسِطَةِ **مُبَدِّلٍ** أَيْ عاكِسٍ لِلتَّيّارِ. وَٱلمُبَدِّلُ ٱلمُسْتَخْدَمُ في ٱلنَّمُوذَجِ ٱلمُبَيَّنِ هُوَ في غايَةِ ٱلبَساطَةِ كَما تُلاحِظُ، لٰكِنَّهُ مِنْ حَيْثُ ٱلمَبْدَأُ لا يَخْتَلِفُ عَنِ ٱلمُبَدِّلاتِ ٱلمُسْتَخْدَمَةِ في ٱلمُحَرِّكاتِ ٱلكَبِيرَةِ. فَٱلمُبَدِّلُ يَعكِسُ ٱتِّجاهَ ٱلتَّيّارِ بَعْدَ أَن يُتِمَّ ٱلمِلَفُّ نِصْفَ دَوْرَةٍ – وبِدُونِ ٱلمُبَدِّلِ يَتَوَقَّفُ ٱلمِلَفُّ بَعْدَ نِصْفِ ٱلدَّوْرَةِ في وَضْعٍ أُفُقِيٍّ. لكِنَّ عَكْسَ ٱتِّجاهِ ٱلتَّيّارِ في ٱلمِلَفِّ يَجْعَلُهُ يَدُورُ نِصْفَ دَوْرَةٍ آخَرَ... وهكَذا.

وَفي ٱلمُحَرِّكِ ٱلكَبِيرِ لا يُقْتَصَرُ على مِلَفٍّ واحِدٍ بَلْ تُسْتَخْدَمُ سِلْسِلَةٌ من ٱلمِلَفّاتِ، كُلُّ واحِدٍ مُزاحٌ عَنْ سابِقِهِ بِزاوِيَةٍ صَغِيرَةٍ. وكَذٰلِكَ يَحوي ٱلمُبَدِّلُ عَدَدًا من ٱلقِطَعِ بِمُعَدَّلِ واحِدَةٍ لِكُلِّ مِلَفٍّ. وَيُغَذَّى ٱلتَّيّارُ إِلى كُلِّ قِطْعَةٍ من

فَوْق

تُسْتَخْدَمُ قاعِدَةُ ٱليَدِ ٱليُسْرَى لِفْلِمِنْغ في تَحْدِيدِ ٱتِّجاهِ ٱلحَرَكَةِ في ٱلمُحَرِّكاتِ. فَفي وَضْعِ ٱلتَّعامُدِ ٱلثُّلاثِيِّ لِلأَصابِعِ، حِينَ تُشِيرُ ٱلسَّبّابَةُ إِلى ٱتِّجاهِ ٱلمَجالِ ٱلمِغْنَطِيسِيِّ، وٱلوُسْطَى إِلى ٱتِّجاهِ ٱلتَّيّارِ، تُشِيرُ ٱلإِبْهامُ إِلى ٱتِّجاهِ ٱلحَرَكَةِ.

إِلى ٱليَسار

تَسْتَخْدِمُ ٱلمِكْنَسَةُ ٱلكَهْرَبائِيَّةُ مُحَرِّكًا لِسَفْطِ ٱلغُبارِ (وٱلكُناسَةِ). فَٱلمُحَرِّكُ يُدَوِّرُ مِرْوَحَةً تَسْفُطُ ٱلهَواءَ نَحْوَ جِرابِ ٱلكُناسَةِ. ومُحَرِّكُ ٱلمِكْنَسَةِ هو عادَةً مُحَرِّكٌ تَزامُنِيٌّ مُتَناوِبُ ٱلتَّيّارِ إِذْ لا تَدعُو ٱلحاجَةُ هُنا لِتَغْيِيرِ ٱلسُّرعَةِ.

إلى اليسار

تستخدم القطارات محرّكات كهربائيّة ضخمة. وفي سكك الحديد التحت أرضيّة، كما في مدينة لندن، يغذّى محرّك القطار بالتيّار من قضيب السكّة المكهرب. أمّا في قطارات النقل الكهربائيّة في مختلف البلدان فتغذّى المحرّكات بالتيّار من خطّ كهربائيّ معلّق تتّصل به شحنة نابضيّة فوق سطح القطار.

المبدّل بواسطة فرجوني الكربون في أثناء دوران المبدّل بينهما.

ومجالات استخدام المحرّكات الكهربائيّة واسعة ومتعدّدة كتعدّد أشكالها، فمن محرّك آلة الحلاقة الصغير الذي لا تزيد قدرته على جزء من الكيلواط إلى المحرّكات الضخمة التي تشدّ القطارات وتدير مكنات المصانع. بعض المحرّكات مصمّم ليعمل بالتيار المتناوب وبعضها يعمل بالتيّار المستمرّ بينما يمكن لبعضها الآخر (المعروف بالمحرّكات العامّة) العمل على كلا نوعي التيّار. ومحرّكات التيّار المستمرّ المستخدمة في تسيير القطارات هي من نمط النموذج نفسه الذي سبق وصفه، غير أنّه يستبدل فيها بالمغنطيس الدائم مغانط كهربائيّة.

تعمل محرّكات التيّار المتناوب المتزامنة بسرعة ثابتة يحدّدها تردّد المصدر، لذلك لا تستخدم هذه المحرّكات حيثما تقتضي الحاجة تغيير السرعة بدرجة كبيرة.

أمّا محرّكات التيّار المتناوب الحثّيّة الكثيرة الاستخدام في مجالات الصناعة فلها ملفّات دوّارة (العضو الدوّار) كثيرة الشبه بالملفّات الثابتة (العضو الساكن). ويعمل كلا نوعي الملفّات كمحوّل، وبعض هذه المحرّكات عاجز عن بدء الحركة ذاتيًّا، ولا بدّ له من محرّك منفصل لبدء حركته.

والمحرّكات الكهربائيّة هي وسيلة نظيفة وسهلة المتناول للحصول على الطاقة الحراكيّة (الميكانيكيّة). فالسيّارة الكهربائيّة تخفّض التلوّث في مدننا إلى حدّ كبير، فهي لا تنفث غازات وأدخنة ضارّة في الهواء، كما أنّها قليلة الضجيج بالمقارنة مع السيّارات التي تعمل بمحرّكات الاحتراق الداخليّ.

ومن ميزات المحرّكات الكهربائيّة أنّها تنتج الحركة الدائريّة مباشرة، بينما نحصل من المحرّك البنزينيّ على حركة أماميّة وخلفيّة من المكبس نحوّلها قبل الاستخدام إلى حركة دائريّة.

وبعض المحرّكات الكهربائيّة المعروفة **بالخطّيّة** لا تعطي حركة دائريّة. وهي نوع من المحرّكات الحثّيّة يكون فيها العضوان الدوّار والساكن مستقيمين ومتوازيين. وقد يستخدم هذا النوع من المحرّكات يومًا ما لتشغيل وسائل نقل اقتصاديّة داخل المدن على سكك مرتفعة أحاديّة الخطّ، بحيث يكون أحد الملفّات على المركبة والآخر على الخطّ الأحاديّ المستعمل.

إلى أسفل

لتصنع محرّكًا كهربائيًّا بسيطًا لفّ حوالى ٢٥ لفّة من سلك نحاسيّ رفيع معزول (عيار ٢٦) حول فلّينة كبيرة أسطوانيّة الشكل، وثبّت اللفّات بشريطين مطّاطيّين أو ثلاثة. وصّل طرفي سلك اللفّ المعرّيين إلى دبّوسين قويّين مثبّتين جيّدًا في الفلّينة على بعد مناسب بحيث يبرز كلّ منهما حوالى سنتيمترين. أمرّ إبرة حياكة بعناية عبر مركز الفلّينة المحوريّ ثمّ ركّز كلًّا من طرفي الإبرة على حامل تصنعه من مسمارين متصالبين، كما هو مبيّن في الرسم. ثبّت قضيبي مغنطيس فوق علبتي ثقاب على جانبي الفلّينة وقطباهما المختلفان متقابلان لإنتاج المجال المغنطيسيّ. وصّل بطّاريّة جهدها ٦ فلط بسلكين إلى قامطتي ورق مثنيّتين ومثبّتتين بدبّوسي رسم إلى لوحة القاعدة. اضبط طرفي القامطتين السائبين بحيث تمسّان برفق دبّوسي الفلّينة عند تدويرها. دوّر الفلّينة (لأنّ هذا المحرّك ليس تلقائيّ الدوران) فيستمرّ دورانها.

اَلْكَهْرَبائِيَّةُ اَلسَّاكِنَةُ
(اَلإلِكْتروستاتِيّات)

حَوالى العامِ ٦٠٠ قَبْلَ المِيلادِ اكْتَشَفَ العالِمُ والفَيلسُوفُ اليُونانيُّ طاليس نَوْعًا منَ الصَّمغِ المُتَحَجِّرِ يَجْذِبُ إلَيهِ قِطَعَ الوَرَقِ الصَّغيرةَ والتِّبنَ والرِّيشَ إذا حُكَّ بالفَرْوِ. واسمُ هذا الصَّمغِ الرّاتينْجيِّ كاه رَبا (وهُوَ مُعَرَّبٌ من الفارِسيَّةِ ومَعْناهُ جاذِبُ التِّبنِ) ومِنهُ اشْتُقَّ اسمُ **الكَهْرَباء**. أمّا في اللُّغاتِ الأَجْنبيَّةِ الغَربيَّةِ فَقَد اشْتُقَّ الاسمُ من اليونانيَّةِ الَّتي يُسَمّى فيها هذا الرّاتينجُ «**إلِكترونًا**»، وكانَ العالِمُ البريطانيُّ وِلْيَم جِلْبَرت (١٥٤٤ – ١٦٠٣) أوّلَ من اقْتَرحَ تِلكَ التَّسْمِيَةَ.

إذا سَرَّحْتَ شَعْرَكَ بمِشْطٍ لَدائنيٍّ (بلاستيك) تَجِدُ أنَّ المِشْطَ يَكْتَسِبُ خاصِّيَّةَ جَذْبِ قُصاصاتِ الوَرَقِ الصَّغيرةِ إلَيْهِ – ولا يَخْتَلِفُ ذلِكَ عَمّا اكتشفَهُ طاليسُ في تَجْرِبَتِهِ مُنذُ سِتَّةٍ وعِشْرينَ قَرنًا. كَذلِكَ إذا سَرَّحْتَ شَعْرَكَ بالمِشْطِ اللَّدائنيِّ بشِدَّةٍ في غُرفَةٍ مُظلِمَةٍ ثُمَّ قَرَّبْتَ المِشْطَ إلى إبْهامِكَ تُلاحِظُ انْطِلاقَ شَرارةٍ صَغيرةٍ. وسببُ ذلكَ أنَّ الطّاقَةَ المُختَزَنَةَ في الشِّحنَةِ تَبْتَعِثُ الضَّوءَ مِنْ ذَرّاتِ الهَواءِ بَيْنَ المِشْطِ وإبْهامِكَ. وهذا مُماثِلٌ لِما يَحْدُثُ في التَّفريغِ البَرْقيِّ.

وقَد حارَ العُلَماءُ في طَبيعَةِ قُوَّةِ الجَذْبِ هذِهِ وفي مَصْدَرِ تِلكَ الطّاقَةِ الَّتي تُحدِثُ الشَّرَرَ. وحَتّى نِهايَةِ القَرْنِ التاسِعَ عَشَرَ لم يَتَوصَّلْ أحَدٌ إلى جَوابٍ شافٍ عَلى ذلك. بَلْ إنَّنا حَتّى اليَومِ لَمْ نَتَوصَّلْ إلّا إلى جَوابٍ جُزئيٍّ حَولَ هذا المَوضوع. فَنَحنُ نَعرِفُ أنَّ المادَّةَ تَترَكَّبُ من ذَرّاتٍ وأنَّ الذرّاتِ تَتكَوَّنُ أساسيًّا من ثَلاثَةِ أنواعٍ من الجُسَيْماتِ هِيَ الإلِكْتروناتُ والبروتوناتُ والنيوتْرونات.

اَلشِّحْناتُ المُتَخالِفَةُ تَتجاذَبُ

اَلشِّحْناتُ المُماثِلَةُ تَتنافَرُ

أَقْصَى اليَمين

عِنْدَ تَسريحِ الشَّعْرِ بمِشطٍ لَدائني يُشْحَنُ المِشْطُ بالكَهرباء. وفي هذه الحالِ يَستطيعُ المِشْطُ جَذْبَ قُصاصَةِ ورَقٍ صَغيرةٍ إلَيهِ أو يُمكِنُ أنْ يُفَرِّغَ شِحنَتَهُ بانْبِعاثِ شَرارَةٍ (لا تُرى الشَّرارةُ إلّا في غُرفَةٍ مُعْتِمَةٍ، لكِنْ بوسْعِكَ سَماعُ فَرقَعَتِها في النَّهارِ خاصَّةً في يَومٍ يكُونُ فيه الطقسُ بارِدًا وَجافًّا).

إلى أسْفَل

شارْل كُولُوم (١٧٣٦ – ١٨٠٦) فيزيائيٌّ فَرَنْسيٌّ اكْتَشَفَ القانُونَ الذي يَحْمِلُ اسْمَهُ والمُتَعلِّقَ بالقُوى الفاعِلَةِ بينَ الجُسَيْماتِ المَشحونَةِ.

كُولُوم

إلى اليَمين

قانُون كُولُوم: الشِّحْناتُ المُتَخالِفَةُ تَتجاذَبُ والشِّحْناتُ المُتَماثِلَةُ تَتَنافَرُ. وتَتَناسَبُ قُوَّةُ الجَذْبِ أو التَّنافُرِ في الحالَيْنِ طَرْدِيًّا مَعَ مِقْدارِ الشِّحناتِ (أيْ تَزْدادُ بازْدِيادِها) وعَكْسِيًّا مَعَ مُرَبَّعِ المَسافَةِ بَيْنَها – يَعني أنَّهُ إذا انْخَفَضَتِ المَسافَةُ إلى النِّصْفِ تَزدادُ قُوَّةُ الجَذْبِ أرْبَعَ مَرّاتٍ.

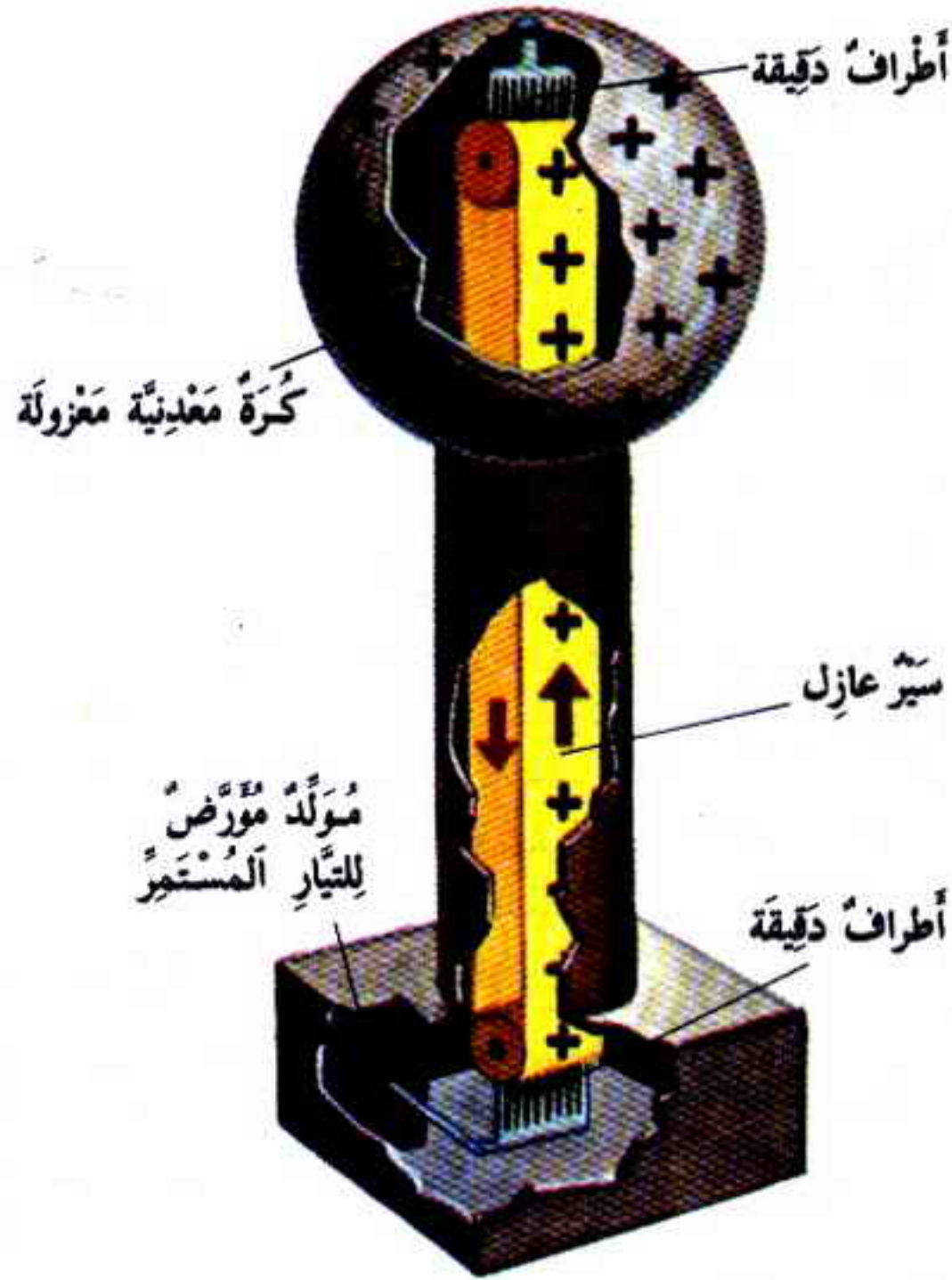
وتتألَّفُ نواةُ ٱلذَّرَّةِ من ٱلبروتونات والنيوترونات. والبروتونات ذاتُ شِحنات كهربائيَّةٍ موجبَةٍ أمَّا ٱلنيوترونات فهي متعادِلةٌ (أي غير مشحونة). ويدور حولَ ٱلنواةِ عدَدٌ مِنَ ٱلإلكترونات مساوٍ لِعَدَدِ ٱلبروتونات في ٱلذَّرَّة. وحيثُ إنَّ الإلكترونات ذاتُ شِحنات كهربائيَّةٍ سالِبَةٍ وإنَّ شِحنةَ الإلكترونِ السالِبَةَ مُساويةٌ تمامًا لشِحنَةِ ٱلبروتونِ ٱلموجبَةِ ومُضادَّةٌ لها فإنَّ ٱلذَّرَّةَ كمجموعٍ متعادِلةٌ كهربائيًّا.

عِنْدَما تُمِرُّ ٱلمِشْطَ عبرَ شعْرِكَ، تتخلَّفُ على شَعْرِكَ بَعْضُ إلكترونات ٱلذرَّاتِ ٱلخارجيَّةِ في ٱلمِشْطِ، وهذا يَعْني أنَّ بروتونات تلكَ ٱلذرَّاتِ لَمْ تَعُدْ متعادِلةً كهربائيًّا لِفقدِها بَعضَ ٱلإلكترونات السَّالِبَةِ ٱلشِّحنة، والنَّتيجةُ أنَّ ٱلمِشْطَ يُصْبِحُ ذا شِحنَةٍ مُوجَبَةٍ. وفي هذه ٱلحالِ تُصبِحُ بروتونات ٱلمِشطِ قادِرةً على جَذْبِ الإلكترونات في ذرَّاتِ قُصاصَةِ ٱلوَرَقِ، وهذا يَخلُقُ قُوَّةَ ٱلجَذْبِ بَيْن ٱلمِشْطِ والقُصاصَةِ.

وهذا ٱلتَّفسيرُ يَعْتَمِدُ على حَقيقَتَيْنِ أولاهُما أنَّ جُسَيْماتِ ٱلمادَّةِ يُمكِنُ أن تُشحَنَ كهربائيًّا على نوعَيْنِ – نوعٍ سالِبِ الشِّحنةِ والآخَر مُوجَبِها. والحقيقةُ الثانيةُ هي أنَّ ٱلشِّحناتِ ٱلمُتَخالِفَةَ تَتَجاذَبُ (بَيْنَما الشِّحناتُ ٱلمُماثِلَةُ تتنافَرُ كما سنرى في فَصْلٍ لاحِقٍ).

إنَّ بِمَقْدورِنا حاليًّا قِياسَ ٱلتَّجاذُبِ وَٱلتَّنافُرِ بَيْنَ ٱلشِّحناتِ ٱلكهربائيَّةِ، كَما إنَّا نَعْرِفُ ٱلكثيرَ جدًّا عن كَهْرَباءِ ٱلذرَّاتِ، ولكنَّا لا نَزالُ نَجْهَلُ طَبيعَةَ ٱلشِّحنَةِ ٱلكَهْرَبائيَّةِ وماهيَّتها الدقيقة، كما إنَّا لا نُدرِكُ كُنْهَ ٱلفَرْقِ بَيْنَ ٱلشِّحنَةِ ٱلسَّالِبَةِ والشِّحنَةِ ٱلمُوجَبَةِ.

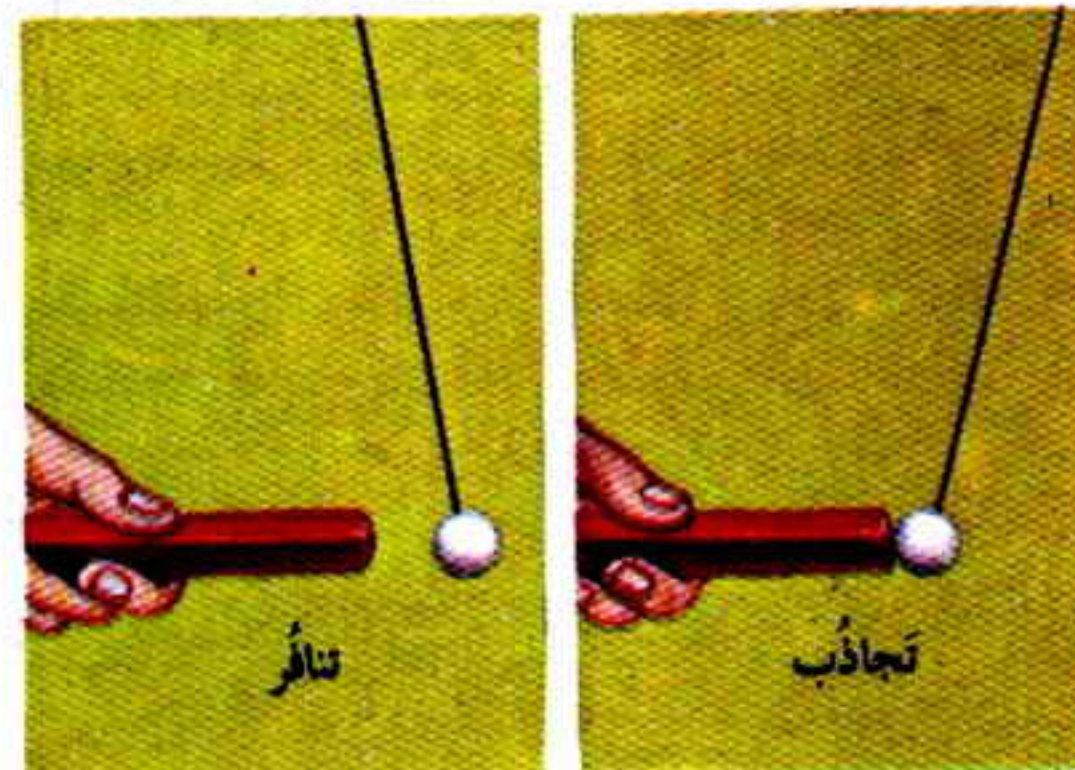
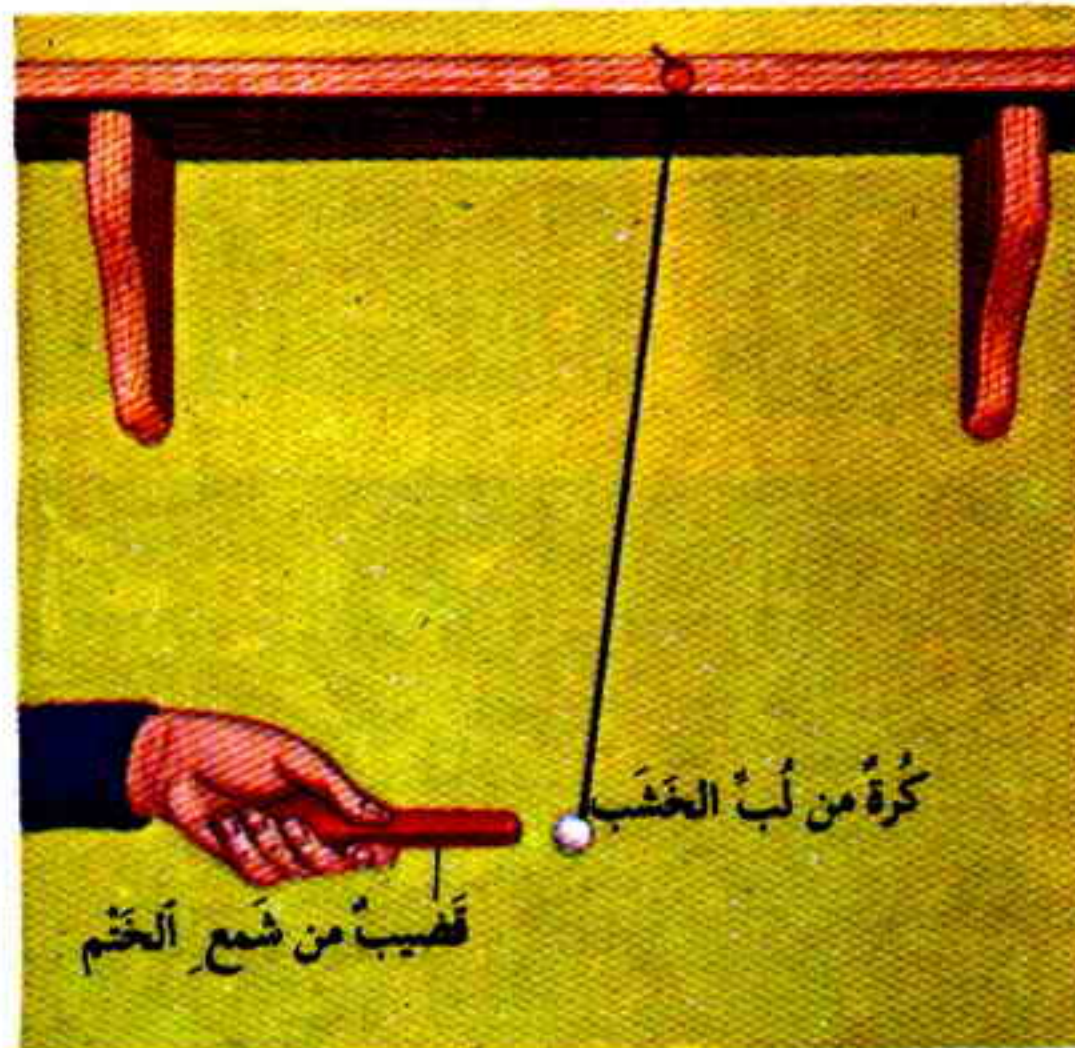
إلى ٱليَسار

لِبَيانِ ٱلتَّنافُرِ بينَ ٱلشِّحناتِ المُتَماثِلَةِ خُذْ شَرِيحَةً من جَريدَةٍ عَرْضُها ٥ سنتيمترات وطولُها ٣٠ سنتيمترًا وٱبْسُطْها على ٱلمِنْضَدَةِ. افْرُكِ الشَّريحَةَ حَوالَى ٢٠ مَرَّةً بِقِطْعَةٍ من ٱلنَّسيجِ ٱلصُّوفِيِّ ثُمَّ علِّقها راكِبَةً على مِسْطَرَةٍ لدائِنيَّةٍ ولاحِظِ ٱلتنافُرَ بَيْنَ طَرَفَيْها.

إلى ٱليسار

يُسْتَخْدَمُ مُوَلِّدُ فانْ دِي غراف لِتَوليدِ شِحناتٍ كَهْرَبائيَّةٍ عالِيَةٍ لِتُسْتَعْمَلَ في ٱلمُختَبَراتِ العِلْمِيَّةِ. تَتَوَلَّدُ ٱلشِّحناتُ ٱلكَهْرَبائيَّةُ من ٱحتِكاكِ الأطرافِ المُسْتَدِقَّةِ السُّفْلِيَّةِ بجُزَيْئاتِ ٱلهواءِ التي تَتَشَتَّتُ جُزَيْئاتُها سالِبَةَ ٱلشِّحناتِ بالاحتِكاكِ تارِكَةً شِحناتٍ مُوجَبَةً على الأطرافِ الدَّقيقةِ لِيَنْقُلَها ٱلسَّيْرُ إلى ٱلكُرَةِ ٱلمَعْدِنِيَّةِ عَنْ طَريقِ الأطرافِ ٱلدَّقيقةِ ٱلعُلْوِيَّةِ.

إلى ٱليَسار

لدِراسَةِ خَصائصِ ٱلشِّحنَةِ ٱلإلكتروستاتيَّةِ علِّقْ كُرَةً صَغيرةً من لُبِّ ٱلخَشَبِ أو من خَشَبِ ٱلبَلْسا أو ٱلفِلِّينِ بِخَيْطٍ رَفيعٍ من حامِلٍ مُناسِبٍ. ٱدْلُكْ قَضيبًا مِنْ شَمْعِ ٱلخَتْمِ بِقِطْعَةِ صُوفٍ لِتَشْحَنَهُ ثُمَّ قَرِّبْهُ من كُرَةِ لُبِّ ٱلخَشَبِ ولاحِظْ أنَّها تَنْجَذِبُ إليهِ. دَعِ ٱلكُرَةَ تُلامِسُ قَضيبَ ٱلشَّمعِ هُنَيْهَةً لِتأخُذَ بَعْضَ شِحْنَتِهِ، ثُمَّ قَرِّبِ ٱلقَضيبَ مِنْها ثانِيَةً ولاحِظْ كَيْفَ تَنْفِرُ ٱلكُرَةُ بَعيدًا هذهِ المَرَّةَ. وَسَبَبُ ذلكَ أنَّ كُلًّا من ٱلقَضيبِ وٱلكُرَةِ أضْحَى يَحْمِلُ شِحنَةً مُماثِلَةً، وَٱلشِّحناتُ ٱلمُتَماثِلَةُ تَتَنافَرُ.

إلى ٱليمين

تَحْوي ٱلنَّواةُ في ذَرَّةِ ٱلكَرْبونِ ٦ بروتونات و ٦ نيوترونات، وتَدورُ حولَها ٦ إلكترونات، وٱلذَّرَّةُ لِذلِكَ مُتعادِلَةٌ كَهْرَبائيًّا. وحينَما تُسَرِّحُ شَعْرَكَ بِمِشْطٍ يَحوي ذَرَّاتٍ كَرْبونِيَّةً تَبْقَى بَعْضُ إلكتروناتِ ٱلكَرْبونِ على الشَّعْرِ. ومَتَى فَقَدَتْ ذَرَّةُ الكَرْبونِ إلكترونًا تُصْبِحُ مُوجَبَةَ الشِّحنَةِ وتَتَجاذَبُ بِطَبيعَةِ ٱلحالِ مَعَ ٱلإلكتروناتِ في ذرَّاتِ قُصاصَةِ ٱلوَرَقِ.

كَهْرَبائِيَّةُ ٱلجَوِّ

عِنْدَما يَحْصُلُ ٱلتَّفْرِيغُ الكَهربائيُّ بِسُرعةٍ من جِسْمٍ مَشْحُونٍ إلى مُوَصِّلٍ على مَقْرُبَةٍ مِنْهُ، دُونَ أنْ يُلامِسَهُ، تَقْفِزُ شَرارةٌ بَيْنَ ٱلجِسْمَيْنِ. وكانَ ٱلعالِمُ ٱلبريطانيُّ وِلْيَم وُول، في ٱلعام ١٧٠٨، أَوَّلَ مَنْ عَلَّلَ وَمِيضَ ٱلبَرْقِ في السَّماءِ بأنَّهُ شَرارةٌ من هذا ٱلقَبِيلِ على نِطاقٍ واسِعٍ.

وبَعْدَ ذلكَ بِحَوالى خَمْسينَ عامًا أَجْرَى ٱلعالِمُ الأميركيُّ بنجامين فرانْكلين تَجْرِبَةً لِيُحاوِلَ ٱلبَرْهَنَةَ على أنَّ ٱلتَّفْريغَ ٱلبَرْقِيَّ ناتِجٌ فِعْلاً عَنِ ٱلكَهرباء. فعَمَدَ في أَثْناءِ عاصِفَةٍ رَعْدِيَّةٍ، إلى تَطْيِيرِ طائرةٍ وَرَقِيَّةٍ مُعَلَّقٍ بها سِلْكٌ مَعْدِنيٌّ تَتَّصِلُ نِهايَتُهُ ٱلسُّفْلَى بخَيْطٍ حَريريٍّ أَمْسَكَ بِهِ. وقد وَصَّلَ فرانْكلين بٱلخَيْطِ ٱلحَريريِّ على مَسافةِ ٱمتِدادِ ذِراعِهِ مِفتاحًا مَعْدِنيًّا. ولَدى مُرُورِ طائرتِهِ ٱلوَرَقِيَّةِ عَبْرَ سَحابَةٍ رَعْدِيَّةٍ قَرَّبَ فرانْكلين إصْبَعَهُ من ٱلمِفْتاحِ ٱلمَعدِنيِّ فقَفَزَتْ شَرارةٌ عَبْرَ ٱلفَجوة بَيْنَهُما. وفي كُلِّ مَرَّةٍ كانَتْ تَعْبُرُ طائرَتُهُ سَحابَةً رَعْدِيَّةً كانَ فرانْكلين يَحْصُلُ على الشَّرَرِ عَبْرَ ٱلفَجْوَةِ بين إصْبَعِهِ وٱلمِفْتاح. وقدْ أَكَّدَ لهُ ذلكَ أنَّ ٱلسُّحُبَ ٱلرَّعدِيَّةَ مَشْحُونَةٌ بٱلكَهرباء، وأنَّ بَعْضَ هذه ٱلكَهرباءِ يَسري عَبْرَ ٱلخَيْطِ ٱلحريريِّ ٱلمُبتَلِّ إلى ٱلمِفتاحِ ٱلمَعْدِنيِّ، وأنَّ تجَمُّعَ ٱلشِّحنَةِ على ٱلمِفتاحِ يُسَبِّبُ قَفْزَ ٱلشَّرارَةِ عَبْرَ ٱلفَجْوَةِ إلى إصبَعِه.

لَقَدْ كانَت تلكَ تَجْرِبَةً رائِعَةً ولكِنَّها مُجازَفَةٌ خَطِيرةٌ ولا شَكَّ؛ ومِنْ حُسْنِ حَظِّ فرانْكلين أنَّه نَجا. فقَد حاوَلَ أَحَدُهُم إعادةَ هذهِ ٱلتَّجرِبَةِ ذاتِها فَماتَ مَصْعُوقًا بِشِدَّةِ ٱلتَّفْريغ. لكِنَّ مُجازفَةَ فرانكلين لَمْ تَذْهَبْ عَبَثًا، فبَعْدَ تِبْيانِهِ أنَّ ٱلبَرْقَ هُوَ تَفْريغٌ كَهْرَبائيٌّ راحَ يُصَمِّمُ وَسيلَةً يَقِي بِها ٱلمَباني ٱلمُرتَفِعةَ مِنْ خَطَرِ ٱلصَّواعِق. والٱختِراعُ ٱلذي طَلَعَ به، وهُو مانِعَةُ ٱلصَّواعِقِ، هُوَ ٱستِنْتاجٌ مَنْطِقيٌّ بَسيطٌ مِنْ تَجْرِبَةِ ٱلطَّائرةِ ٱلوَرَقِيَّةِ. فقَدْ ثَبَّتَ قَضيبًا مَعْدِنيًّا في أَعْلَى ٱلمَبْنى وَوَصَّلَهُ بِسِلْكٍ إلى الأَرْضِ، وهكذا فإنَّهُ إذا ضَرَبَتِ ٱلمَبْنَى صاعِقَةٌ ٱقْتِيدَتِ ٱلشِّحنَةُ بِأَمانٍ عَبْرَ ٱلسِّلكِ إلى ٱلأرض.

وقَد خَفَّفَتْ مانِعاتُ ٱلصَّواعِقِ كَثيرًا مِنْ أَخْطارِ ٱلصواعِقِ ومن ٱلدَّمارِ ٱلذي كانَتْ تُحدِثُه. ومع ذلكَ فما زالَتْ أخطارُ ٱلصَّواعِقِ ماثِلَةً في ٱلعالَمِ بحَيْثُ تَقْضي على حَوالَى ٱلعِشْرينَ شَخْصًا كُلَّ يومٍ!

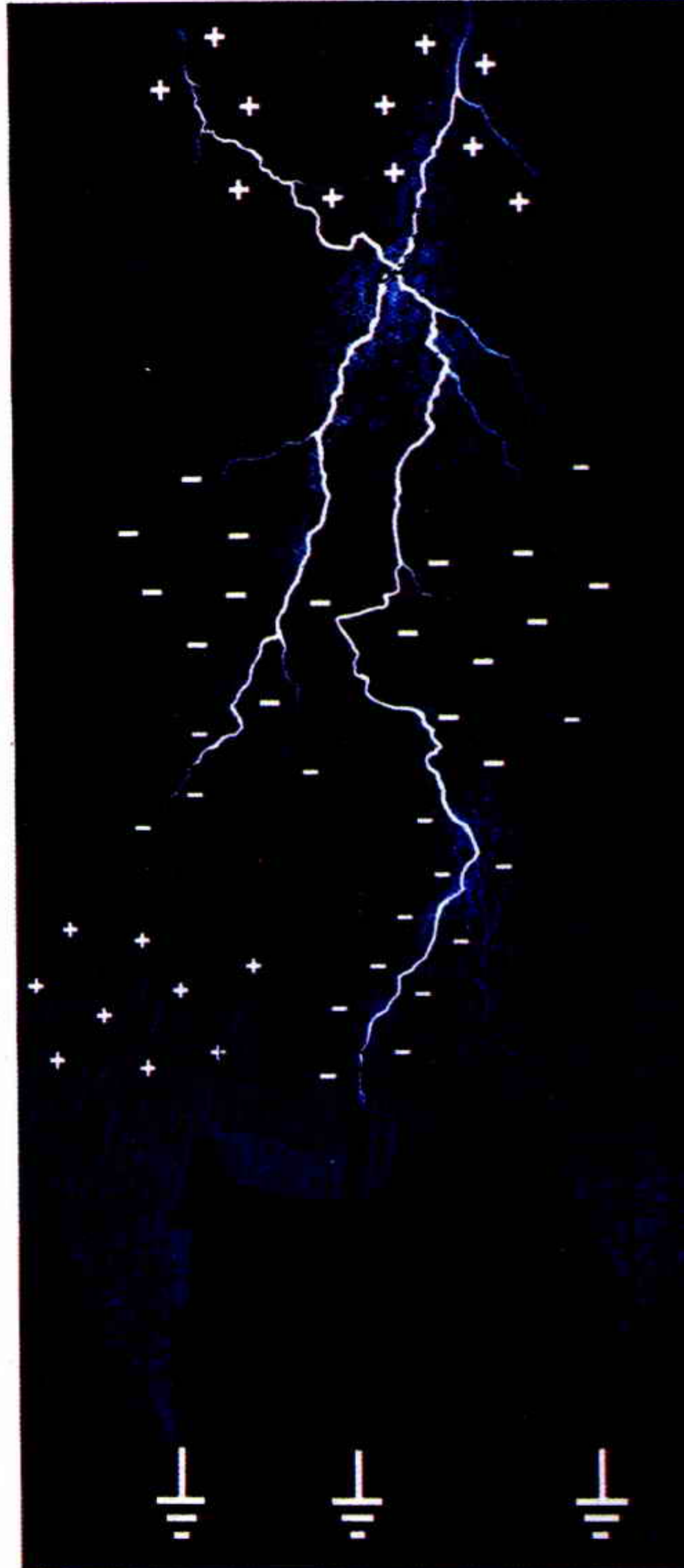
وقَدْ يَحْدُثُ ٱلتَّفْريغُ ٱلبَرْقِيُّ بَيْنَ سَحابَةٍ وأُخْرَى أو بَيْنَ

فَوْق

بِنْجامِين فرانْكلين يُمِرُّ طائرَتَهُ ٱلوَرقِيَّةَ عَبْرَ سَحابَةٍ رَعْدِيَّةٍ ويَحْصُلُ على تَفْريغٍ كَهربائيٍّ شَراريٍّ من ٱلمِفتاحِ ٱلموصُولِ بِخَيْطِ ٱلطائرةِ. لَقَدْ واتَى فرانكلين ٱلحَظُّ فلَمْ تُودِ هذهِ ٱلتَّجرِبَةُ بِحَياتِه كَما أَوْدَتْ بِحَياةِ مُخْتَبِرٍ آخَرَ حاوَلَ إعادَتَها فكانَ ٱلتَّيّارُ ٱلسّاري عَبْرَ جِسْمِهِ إلى الأَرضِ كافِيًا لِصَعْقِه. إنَّ تَيّارًا لا يَزِيدُ على ١٥ في ٱلألفِ مِنَ ٱلأَمبير كافٍ لِقَتْلِ ٱلإنسان في مِثْلِ هذا ٱلتَّفْريغ.

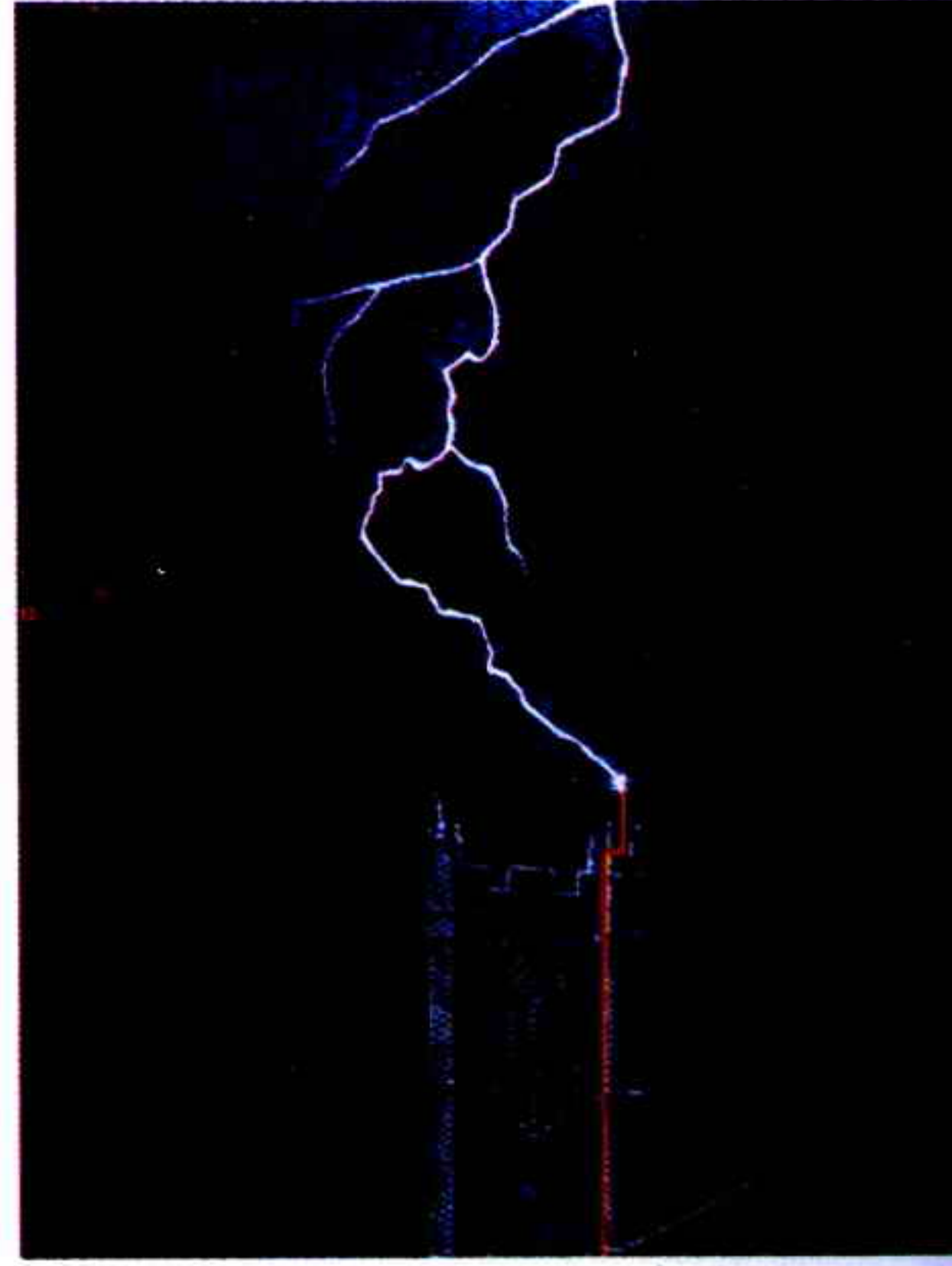
إلى ٱليَمين

هُنالِكَ عِدَّةُ نَظَرِيّات حَوْلَ السَّبَبِ في تكَوُّنِ ٱلشِّحْناتِ ٱلكَهْرَبائيَّةِ ٱلمُخْتَلِفَةِ على السُّحُبِ ٱلمُمْطِرَةِ، ولَعَلَّ ٱحتِكاكَ ٱلسُّحُبِ بٱلهَواء وٱنحِلالَ جُزَيْئاتِ ٱلهَواءِ من جَرّاءِ ذلكَ هُوَ بَعْضُ هذا ٱلسَّبَبِ، وتَتَجَمَّعُ ٱلشِّحناتُ ٱلمُوجَبَةُ غالِبًا على ٱلجُزْءِ ٱلعُلْوِيِّ من ٱلسَّحابَةِ حَيْثُ تُراوِحُ دَرَجَةُ ٱلحرارَةِ بَيْن −١٠ و−٤٠ مِئوِيّة، بَيْنَما تَتَرَكَّزُ ٱلشِّحناتُ السّالِبَةُ في ٱلمِنْطَقَةِ ٱلوُسْطَى مِنَ ٱلسَّحابَةِ حَيْثُ دَرَجَةُ ٱلحرارةِ حَوالى ٱلصِّفْرِ ٱلمِئوِيِّ. وأَحْيانًا تَكُونُ الأَجْزاءُ ٱلمُمْطِرةُ في أَسْفَلِ ٱلسَّحابَةِ مُوجَبَةَ ٱلشِّحنَةِ أيضًا.

حِينَما يَتِمُّ ٱلتفريغُ ٱلبَرقِيُّ بينَ سَحابَتَيْن نُسَمِّيهِ بَرْقًا سَحابِيًّا، أمّا إذا حَصَلَ ٱلتفريغُ بَيْنَ ٱلسَّحابَةِ والأرضِ فهُوَ بَرْقٌ سَحابِيٌّ أرْضِيٌّ.

ٱلسَّحابَةِ وٱلأَرضِ ، وفي كِلا ٱلحالَيْنِ يَتِمُّ ٱلتَّفْرِيغُ في بَرْقَةٍ واحِدَةٍ تتألَّفُ عادَةً مِن وَمَضاتٍ خَمْسٍ إلى عَشْرٍ مُتقارِبَةٍ جدًّا عَبْرَ ٱلمَسارِ نَفْسِه . ولمَّا كانَ ٱلفاصِلُ ٱلزَّمَنِيُّ بَيْنَ ٱلوَمْضَةِ وٱلأُخْرى لا يَتجاوَزُ بِضْعَةَ أجزاءٍ من مِئَةٍ منَ ٱلثَّانِيَةِ فإنَّ ٱلوَمَضاتِ ٱلمُتقَطِّعَةَ تَبْدو لِلْعَيْنِ ٱلبَشَرِيَّةِ كَبَرْقَةٍ واحِدَة . وبِفِعْلِ ٱلحرارَةِ الشَّديدَةِ ٱلنَّاتِجَةِ عَنْ تَفْرِيغِ تَيَّارِ ٱلشِّحْنَةِ يَتَمَدَّدُ ٱلهَواءُ ٱلمُجاوِرُ ؛ وتَكْرارُ ٱلتَّمَدُّدِ وٱلتَّقَلُّصِ ٱلنَّاتِجُ عن تَفْرِيغِ ٱلوَمَضاتِ ٱلخَمْسِ أو ٱلعَشْرِ يُحْدِثُ أَمْواجًا صَوْتِيَّةً عَظِيمَةً هي ٱلرَّعدُ . ونَحْنُ نَرى ٱلبَرْقَ أوَّلاً ثُمَّ نَسْمَعُ ٱلرَّعْدَ (معَ أَنَّهُما يَحْدُثانِ معًا) لأَنَّ ٱلضَّوءَ أَسْرَعُ كثيرًا جدًّا من ٱلصَّوتِ . وتَخَلُّفُ سَماعِ ٱلرَّعْدِ ثلاثَ ثَوانٍ عَنْ رُؤْيَةِ ٱلبَرْقِ يَعْنِي أَنَّ ٱلتَّفْرِيغَ قَدْ حَدَثَ على بُعْدِ كيلومترٍ واحدٍ مِنْكَ ، إذ إنَّ سُرْعَةَ ٱلصَّوتِ حوالى ٠،٣٣ كيلومترٍ في ٱلثانِيَة .

إلى أسفل

نارُ ٱلقِدِّيسِ إلْمُو هي تَوَهُّجٌ أزرَقُ يُرى أحيانًا على أطرافِ أجْنِحَةِ ٱلطائِراتِ في أثناءِ ٱلعَواصِفِ ٱلكهرَبائيَّةِ . فٱلسُّحُبُ في هذِه ٱلعَواصِفِ تَحْمِلُ في أسافِلِها شِحناتٍ كَهْرَبائِيَّةً كَثِيفَةً تَشْحَنُ أطرافَ ٱلطائِراتِ ٱلعابِرَةِ بٱلتأثيرِ ، ويَتِمُّ ٱلتَّفرِيغُ الكَهرَبائيُّ بينَ شِحنَةِ ٱلسَّحابَةِ وشِحنَةِ ٱلأطرافِ ٱلمُخالِفَةِ بِتَوَهُّجٍ أزرَقَ ساطِعٍ . وكانَتْ هذِه ٱلظَّاهِرَةُ تُشاهَدُ فَوقَ صَوارِي ٱلسُّفُنِ ٱلخَشَبِيَّةِ وأُطْلِقَ علَيها هذا الأسمُ تَكريمًا لِلقِدِّيسِ إلْمو شَفيعِ ٱلبَحَّارِينَ في ٱلبَحْرِ ٱلأبيَضِ ٱلمُتَوَسِّطِ .

فوق

يَسْرِي ٱلتَّفريغُ ٱلكَهرَبائيُّ ٱلبَرْقِيُّ في قَضِيبِ مانِعَةِ الصَّواعِقِ ٱلمَعدِنيِّ في أعلَى بُرجِ المَبنى ثُمَّ إلى الأرضِ بأمانٍ عَبْرَ ٱلمُوَصِّلِ ٱلسِّلكِيِّ ، دُونَ أنْ يُصيبَ بُرجَ ٱلمَبْنَى بِأضرارٍ . ومانِعةُ ٱلصَّواعِقِ هي إحدى اختراعات بِنْجامين فرانكلين .

إلى اليسار

تَضرِبُ الصَّواعِقُ أحيانًا خُطوطَ شَبَكَةِ التَّوزيعِ ٱلكَهرَبائِيَّةِ . فأبْراجُ حَمْلِ ٱلخُطوطِ ٱلمُدَبَّبَةُ ٱلعالِيَةُ مُسْتَهْدَفَةٌ لِمِثْلِ هذِه ٱلتفرِيغاتِ ٱلكَهرَبائِيَّةِ . وعِنْدَما تَضْرِبُ ٱلصاعِقَةُ أحَدَ هذه الأبراجِ (أو الأعمِدَةِ) تَشْتَدُّ ٱلفُلْطِيَّةُ إلى دَرَجَةٍ تَنْهارُ مَعَها عَوازِلُ ٱلبُرجِ بِوَمِيضٍ تَوَهُّجِيٍّ شَديدٍ يُذيبُ ٱلأَسْلاكَ ؛ ولا بُدَّ حِينَئِذٍ من قَطْعِ ٱلكَهرباءِ عَنْ ذلِكَ ٱلجُزْءِ مِنْ شَبَكَةِ ٱلتَّوزيعِ إلى حِينِ إصْلاحِهِ .

اَلأَشِعَّةُ ٱلسِّينِيَّةُ وَٱلصِّمَاماتُ ٱلإِلِكْترونِيَّةُ

تَتَحَرَّكُ ٱلإِلِكْترونَاتُ بِحُرِّيَّةٍ في ٱلمَعادِنِ ٱلفِلِزِّيَّةِ، وإذا ما زُوِّدَتْ بِٱلطاقَةِ ٱلكافِيَةِ فإنَّ بِإمكانِها ٱلإفلاتَ مِنَ ٱلمَعْدِنِ كُلِّيَّةً. وهذِهِ ٱلطاقَةُ يُمكِنُ تَوْفيرُها بِٱلحَرارَةِ، فإذا سُخِّنَ ٱلمَعْدِنُ ٱلفِلِزِّيُّ إلى دَرَجَةٍ كافِيَةٍ يَنْبَعِثُ مِنْهُ تَيَّارٌ إلِكْترونيٌّ.

والإِلِكْترونَاتُ سالِبَةُ ٱلشِّحْنَةِ لِذا فَهِيَ بِطَبيعَتِها تَنْجَذِبُ نَحْوَ شِحْنَةٍ مُوجَبَةٍ. وهذِهِ ٱلخاصِّيَّةُ تُسْتَخْدَمُ في **ٱلصِّماماتِ ٱلإلِكترونِيَّةِ** ٱلَّتي تَجِدُ لَها ٱستِعمالاتٍ مُتَعَدِّدَةً في ٱلدَّوائِرِ ٱلكَهْرَبائِيَّةِ.

يَحْوي **ٱلصِّمامُ ٱلثُّنائيُّ** (ٱلدَّايُود) قُطْبَيْنِ هُما **ٱلمَهْبِطُ** (أَوِ ٱلكاثُود) **والمَصْعَدُ** (أوِ الأَنُود) داخِلَ وِعاءٍ زُجاجِيٍّ مُفْرَغٍ مِنَ ٱلهَواءِ. عِنْدَ تَسْخينِ ٱلكاثُودِ تَنْبَعِثُ ٱلإلِكترونَاتُ وتَنْجَذِبُ بِطَبيعَةِ ٱلحالِ نَحوَ ٱلأَنُودِ ٱلمُوجَبِ ٱلشِّحْنَةِ. وهكَذا يَسْري تَيَّارٌ عَبْرَ ٱلصِّمامِ بِٱتِّجاهٍ واحِدٍ فَقَطْ – نَحْوَ ٱلأَنُودِ ٱلمُوجَبِ. ولَو حَدَثَ أَنْ تَغَيَّرَتْ شِحْنَةُ ٱلأَنُودِ إلى شِحْنَةٍ سالِبَةٍ فَلَنْ يَسْرِيَ أَيُّ تَيَّارٍ في ٱلصِّمامِ.

أَمَّا **ٱلصِّمامُ ٱلثُّلاثيُّ** (التِّرايُود) فَيَحْوي بِالإضافَةِ إلى ٱلكاثُودِ والأَنُودِ قُطْبًا أَو مَسْرًى ثالِثًا **هُوَ ٱلشَّبَكَةُ**. ويَتَأَثَّرُ تَيَّارُ ٱلإلِكترونَاتِ ٱلسَّاري مِنَ ٱلكاثُودِ إلى ٱلأَنُودِ بِشِحْنَةِ ٱلشَّبَكَةِ، فَبِزِيادَةِ ٱلشِّحْنَةِ ٱلمُوجَبَةِ لِلشَّبَكَةِ يَتَزايَدُ ٱلتَّيَّارُ ٱلإلِكترونيُّ ٱلسَّاري عَبْرَها. وهكَذا فإنَّ قُلْطِيَّةَ ٱلشَّبَكَةِ تَتَحَكَّمُ في ٱلتَّيَّارِ ٱلسَّاري مِنَ ٱلكاثُودِ إلى ٱلأَنُودِ، ويُمكِنُها أَيضًا **تَضْخيمُهُ**.

وتَسْتَطيعُ **ٱلتَّرانْزِسْتُوراتُ** (أُنظُرْ صفحة ٢٣٨) ٱلقِيامَ بِعَمَلِ ٱلصِّماماتِ ٱلإلِكْتُرونِيَّةِ، وقَد حَلَّتْ فِعْلاً مَحَلَّها في كثيرٍ من الدوائرِ ٱلكَهرَبائِيَّةِ، فَهِيَ أَصْغَرُ حَجْمًا وأَطْوَلُ عُمْرًا ولا تَحْتاجُ إلى حَرارَةٍ لأبتِعاثِ ٱلتَّيَّارِ ٱلإلِكْترونيِّ.

لكِنَّ ٱبْتِعاثَ تَيَّارٍ إلِكْترونيٍّ بِتَسخينِ مَعْدِنٍ فِلِزِّيٍّ ما زالَ يُسْتَخْدَمُ في كَثيرٍ مِنَ ٱلأَدواتِ ٱلمُهِمَّةِ **كالمِجْهَرِ الإلِكْترونيِّ** (أُنظر صفحة ٢١٧) **وأُنبوبِ الأَشِعَّةِ ٱلسِّينِيَّةِ**.

والأَشِعَّةُ ٱلسِّينِيَّةُ (أَو أَشِعَّة إكْس) شَبيهَةٌ بِٱلضَّوءِ إذ إنَّها تَنْتَقِلُ بِنَسَقٍ مَوْجِيٍّ (أُنْظُر صَفحة ١٣٨) لكِنَّ أَطوالَها ٱلمَوْجِيَّةَ أَقْصَرُ بِكَثيرٍ، وَهِيَ غَيْرُ مَرْئِيَّةٍ وتَتَمَيَّزُ بِطاقَةٍ عالِيَةٍ جِدًّا. وتَسْتَطيعُ ٱلأَشِعَّةُ ٱلسِّينِيَّةُ ٱلتَّغَلْغُلَ عَميقًا عَبْرَ الأَجسامِ وأَحيانًا تَخْتَرِقُها دُونَ صُعُوبَةٍ.

تُوَلَّدُ ٱلأَشِعَّةُ ٱلسِّينِيَّةُ في أُنْبُوبَةِ أَشِعَّةِ إكْس عِنْدَما يَنْجَذِبُ بِشِدَّةٍ تَيَّارٌ رَفيعٌ مِنَ ٱلإلِكترونَاتِ ٱلمُنْبَعِثَةِ من كاثُودٍ مُسَخَّنٍ نَحو ٱلأَنُود. وبِسَبَبِ قُلْطِيَّةِ ٱلأَنُودِ العالِيَةِ جِدًّا تَنْدَفِعُ نَحْوَهُ ٱلإلِكْترونَاتُ بِسُرعَةٍ فائِقَةٍ تُكْسِبُها طاقَةً كَبيرَةً. ويَحْوي ٱلأَنُودُ قُرْصًا صَغيرًا من مادَّةٍ ثَقيلَةٍ كَٱلتَّنْغستِنِ يَتَلَقَّى بِهِ تَيَّارَ ٱلإلِكترونَاتِ. وعِنْدَ ٱصطِدامِ ٱلإلِكترونَاتِ بِذَرَّاتِ ٱلتَّنْغستِنِ تَفْقِدُ طاقَتَها فَتَكْتَسِبُها إلِكترونَاتٌ في ٱلغِلافاتِ ٱلإلِكْترونِيَّةِ ٱلداخِلِيَّةِ لِذَرَّاتِ ٱلتَّنْغستِنِ. ولِكَي تَتَخَلَّصَ ذَرَّاتُ ٱلتَّنْغستِنِ مِنْ طاقَتِها ٱلزائِدَةِ تَبْعَثُ أَشِعَّةً سِينِيَّةً.

وتُستَخدَمُ ٱلأَشِعَّةُ ٱلسِّينِيَّةُ في عِدَّةِ مَجالاتٍ طِبِّيَّةٍ. وهيَ كَأَشِعَّةِ ٱلضَّوءِ قادِرَةٌ على تَكْوينِ صُورَةٍ على فِيلْمٍ فُوتُوغرافِيٍّ. فإذا ما وَقَفَ شَخْصٌ بَيْنَ مَسْرًى خَفيضِ ٱلطَّاقَةِ لأَشِعَّةِ إكْس وٱلفيلْمِ تَظْهَرُ عَلَى ٱلفيلْمِ صُورَةٌ

إلى ٱليَمين

صِمامٌ ثُنائي. اَلقُلْطِيَّةُ ٱلمُتَناوِبَةُ تَجْعَلُ ٱلأَنُودَ مُوجَبًا مَرَّةً وسالِبًا أُخرى في كُلِّ دَوْرَةٍ من تَناوُبِها. وبِمَا أَنَّ ٱلتَّيَّارَ يَسري عَبْرَ ٱلصِّمامِ عِنْدَما يَكُونُ ٱلأَنُودُ مُوجَبًا فَقَطْ فإنَّ ٱلنِّصفَ ٱلسَّالِبَ مِنَ ٱلدَّورةِ يَنْعَدِمُ تَأْثيرُه وهكَذا يُحَوَّلُ ٱلتَّيَّارُ ٱلمُتَناوِبُ إلى تَيَّارٍ مُتَقَطِّعٍ مُوَحَّدِ الأتِّجاهِ يُمكِنُ تَحويلُهُ إلى تَيَّارٍ مُسْتَمِرٍّ – أي إنَّ ٱلصِّمامَ ٱلثُّنائيَّ يَعْمَلُ كَمُقَوِّمٍ لِلتَّيَّار.

إلى ٱليسار

رَسْمٌ تَوضيحيٌّ لِتَركيبِ أُنبوبَةِ الأَشِعَّةِ ٱلسِّينِيَّةِ. إنَّ شَكْلَ الأَنودِ ٱلمُقَعَّرَ يَعْمَلُ على تَوجيهِ ٱلحُزْمَةِ ٱلإلِكترونِيَّةِ ٱلرَّفيعَةِ نَحوَ قُرصِ ٱلتَّنْغستِنِ في ٱلأَنود. وهذا بِدَوْرِهِ يَبْعَثُ بِحُزْمَةٍ ضَيِّقَةٍ نِسْبِيًّا مِن أَشِعَّةِ إكْس تُغادِرُ الأُنبوبَةَ عَبْرَ صَفيحَةٍ مَعْدِنِيَّةٍ رَقيقَةٍ في جانِبِ ٱلأُنْبُوبَةِ. وتَعْتَمِدُ طاقَةُ هذِهِ ٱلأَشِعَّةِ ٱلسِّينِيَّةِ على فَرْقِ ٱلجُهدِ بَيْنَ ٱلكاثُودِ وٱلأَنود.

إلى أَسْفَل

وِلْهِيلم كُنْراد رُونْتجِن (١٨٤٥ – ١٩٢٣) فيزيائيٌّ أَلمانيٌّ اكتَشَفَ الأَشِعَّةَ ٱلسِّينِيَّةَ عام ١٨٩٥ ودَرَسَ كَثيرًا من خَصائِصِها وقَد فَتَحَ ٱكتِشافُ أَشِعَّةِ إكْسْ هذه آفاقًا جَديدَةً في مَجالَي ٱلطِّبِّ وٱلفيزِياء.

فَوق

اَلسِّير جون أَمْبروز فِلِمِنْغ (١٨٤٩ – ١٩٤٥) فيزيائيٌّ بِريطانيٌّ ٱختَرَعَ ٱلصِّمامَ ٱلثُّنائيَّ عام ١٩٠٤ وأَسْهَمَ إلى حَدٍّ كَبيرٍ في تَطْويرِ الإنارةِ ٱلكَهربائِيَّةِ.

إلكترونات عالية الطاقة
فتيلة مسخنة
كاثود
أنود
قرص التنغستن
أشعة سينية (اشعة إكس)

لِهيكلِهِ العظميّ، ويُمكنُ بذلكَ اكتشافُ أيّ كسْرٍ أو تشْويهٍ في عِظامِهِ. وتُستخدمُ الأشعّةُ السّينيّةُ العاليةُ المُستوى الطّاقيّ في مُعالجةِ السّرطانِ إذْ إنّ لِهذه الأشعّةِ قُدرةً إشْعاعيّةً تأيينيّةً تقتُلُ خلاياه (انظُر صفحة ١٩٥).
كما تُستخدمُ الأشعّةُ السّينيّةُ أيضًا في مجالاتِ البحْثِ العلميّ كدراسةِ تركيبِ البلّوراتِ لاكتشافِ وضْعِ الذّراتِ والجُزيئاتِ وانتظامِها في النّسقِ البلّوريّ، وكذلكَ لِدراسةِ طريقةِ ترابُطِ الذّرّاتِ في جُزيئاتِ بعْضِ المُركّباتِ الضّخْمةِ كالحامضِ النّوويّ «د ن ا» والصّبْغِ الخلويّ جـ وغيْرِها.

أحدُ طرَفي الجزيْء
طرَفُه الآخرُ

فوق (في أعلى الصفحة)
صُورةٌ بالأشعّةِ السّينيّةِ ليَدٍ في بِنصَرِها خاتَم. يُصوّرُ طَبيبُ الأسنانِ أضراسكَ للتّأكّدِ من أنّها تنمو قويمةً كما يَجبُ، أو لاختبارِ حاجةِ بعْضِها إلى حشَواتٍ. في سلْبيّةِ الفيلم تظهَرُ العِظامُ والأسْنانُ فقط، فالأشعّةُ السّينيّةُ تخترقُ الجِلدَ واللّحمَ والهَواءَ وتُسوّدُ الفيلْمَ خلْفَها. أمّا العِظامُ والأسْنانُ فتمتصُّ مُعظمَ هذهِ الأشعّةِ فيَظهرُ الفيلْمُ وراءها أبْيَض.

فوْق
صُورةٌ لسيّارةِ جيب مأخُوذةٌ بالأشعّةِ السّينيّةِ. ويَستخدِمُ المُهندِسُونَ هذا النّوعَ مِنَ التصويرِ لاكتشافِ أيّ خطَإٍ في عمليّةِ التّجْميعِ أو لاكْتشافِ أيّ خلَلٍ في نوعيّةِ المَعْدِنِ المُستَعْمَلِ.

إلى اليَمين
البِنْيَةُ الكيماويّةُ لمُركّبِ الصّبْغِ الخَلَويّ جـ. هذا المُركّبُ ذُو الجُزيئاتِ العِملاقةِ هُوَ من مُكوّناتِ خلايا الجِسْم، وقدْ تمّ الكَشْفُ عن تركيبِهِ المُعقّدِ باستِخْدامِ الأشعّةِ السّينيّةِ. تُمثّلُ كُلُّ كُرةٍ ملوّنةٍ في الرّسْمِ مجْمُوعةً مُختَلِفةً من الذّرّاتِ. وبمعْرِفةِ البِنْيَةِ الكيماويّةِ لِلمُركّبِ يتسنّى لِلعُلَماءِ معْرِفةُ الطّرائقِ الّتي يُؤدّي بِها وَظائفَهُ الحَيَويّةَ.

إلى اليسار

نظائرُ الهَيْدروجين الثلاثةُ. تَحوي ذرَّةُ الهَيدرُوجين عادةً بُروتُونًا واحدًا. وفي حوالَى ١٥ ذرَّةً من كلِّ ١٠٠ ألفِ ذرَّةٍ تَحوي النواةُ بُروتونًا ونيُوترونًا وهذهِ هيَ ذرَّاتُ نَظيرِ الهَيدروجين المَعروفِ بالدِيُوتريُوم. أمّا التِرشيُوم فهو نَظيرُ الهَيدروجين المُشِعُّ وتَحوي نَواةُ الذرّةِ فيهِ نيُوترونَيْن. وبآنبِعاثِ جُسَيْمةٍ بائيَّةٍ تَتحوَّلُ نَواةُ التِرشيُوم إلى نَظيرٍ نادِرٍ لِلهيليُوم.

فوق

أنطوان هِنْري بيكريل (١٨٥٢ – ١٩٠٨) فيزيائي فَرَنسيٌّ اكتشفَ إمكانيَّةَ إسقاطِ صُورةٍ على لوحةٍ فُوتُوغرافيَّةٍ بتَعْريضِها لأملاحِ اليُورانيُوم. وقد استَنْتَجَ أنَّ اليورانيُومَ في هذه الأملاحِ يَبْتَعِثُ نوعًا من الإشعاعِ، وكانَ ذلكَ بِدايةَ دِراسةِ الفاعِليَّةِ الإشعاعيَّةِ وأبحاثِها.

اَلفَاعِلِيَّةُ اَلإِشْعَاعِيَّةُ

تَتألَّفُ الذَّرَّةُ مِنْ نَواةٍ مَرْكَزِيَّةٍ يَدُورُ حَوْلَها عَدَدٌ مِنَ الإلِكْتُرونات. وتَحوِي النَّواةُ جُسَيْماتٍ دقيقةً تُسَمَّى **البروتُوناتِ والنيُوترونات**. وتَضُمُّ النَّوى في عُنْصُرٍ مُعَيَّنٍ، كالكَربون مَثَلاً، عَدَدًا من البُروتُوناتِ مُساوِيًا دائمًا لِعَدَدِ الإلِكْتُروناتِ المَدارِيَّةِ (الدائرةِ حَوْلَ النَّواة). وهكَذا فإنَّ شِحْنَةَ البُروتونات المُوجَبَةَ تَكُون مُعادِلَةً تَمامًا بالشِّحْنَةِ السَّالِبَةِ لِلإلِكْتُرونات. أمَّا عَدَدُ النيُوتْرونات في نَواةِ الذَّرَّةِ فَقَدْ يَتغَيَّرُ. والذرّاتُ الَّتي تَتَساوى نَواها في عَدَدِ البروتُوناتِ وتختَلِفُ في عَدَدِ النيُوتْرونات تُعْرَفُ **بالنظائر**، ولِكُلِّ عُنْصُرٍ عِدَّةُ نَظائِر.

تَبْقَى نَوَى الكَثيرِ من النَّظائرِ في حالَةِ استِقرارٍ دائمٍ وتُسَمَّى **نظائرَ مُسْتقِرَّةً**. أمَّا النَّظائرُ غَيْرُ المُستَقِرَّةِ فهِي تَبْتَعِثُ في أيِّ لَحظَةٍ طاقَةً بشكلِ إشْعاعاتٍ لِلتَّخفيفِ من عَدَمِ استِقرارِيَّتها. وهذهِ هي نَوَى النَّظائرِ **ذاتُ الفاعليَةِ الإشعاعِيَّة** أو باختِصار **النظائرُ المُشِعَّةُ**. وقد جاءَ ذِكْرُ الفاعِليَّةِ الإشعاعِيَّةِ أوَّلَ مَرَّةٍ في عام ١٨٩٦ حِيْن اكتَشَفَ بيكريل أنَّ أملاحَ اليُورانيُوم تَبْتَعِثُ نوعًا من الطَّاقة. وقد اكتُشِفَ فيما بَعْدُ أنَّ هذا الابتِعاثَ مَصْدَرُه نَوَى الذَّرَّات ولا عَلاقَةَ للإلكترونات المَداريَّةِ به.

تَفْقِدُ النَّظائرُ المُشِعَّةُ طاقَتَها بِعِدَّة طُرُق، لكِنَّ أهَمَّ سَبِيلَيْن لِذلكَ هُما ابتعاثُ **الجُسَيماتِ الألِفيَّة** وابتعاثُ **الجُسَيماتِ البائيَّة**. ويتألَّفُ الجُسَيْمُ الألِفيُّ (جُسَيْمُ ألفا) من بُروتُونَيْنِ ونيُوتْرُونَيْن أيْ ما يُعادِلُ فِعْلاً نَواةَ ذَرَّةِ الهِليُوم. وبَعْدَ أنْ تُشِعَّ نَواةُ النَّظيرِ المُشِعِّ جُسَيْمًا ألِفيًّا يَتَحَوَّلُ النَّظيرُ إلى نَظيرِ عُنْصرٍ آخَرَ يَنْقُصُ بُروتُونَيْن عن سابِقِه، وهذا يَعني أنَّ وَزْنَ النَّواةِ يَقِلُّ عِنْدَما تَفْقِدُ جُسَيمًا ألِفيًّا.

أمَّا الجُسَيْمَةُ البائيَّةُ (أو جُسَيمَةُ بيتا) فهِي عِبارَةٌ عن إلِكْتُرون، وهذا يَدعُو إلى التَّساؤلِ عَنْ مَصْدَرِها إذْ إنَّ النَّواةَ لا تَحوي إلكْتروناتٍ. والجَوابُ هو أنَّ أحَدَ نيُوتْروناتِ النَّواةِ يَتحوَّلُ أو **يَنْحَلُّ** فَجأةً إلى بُروتُونٍ

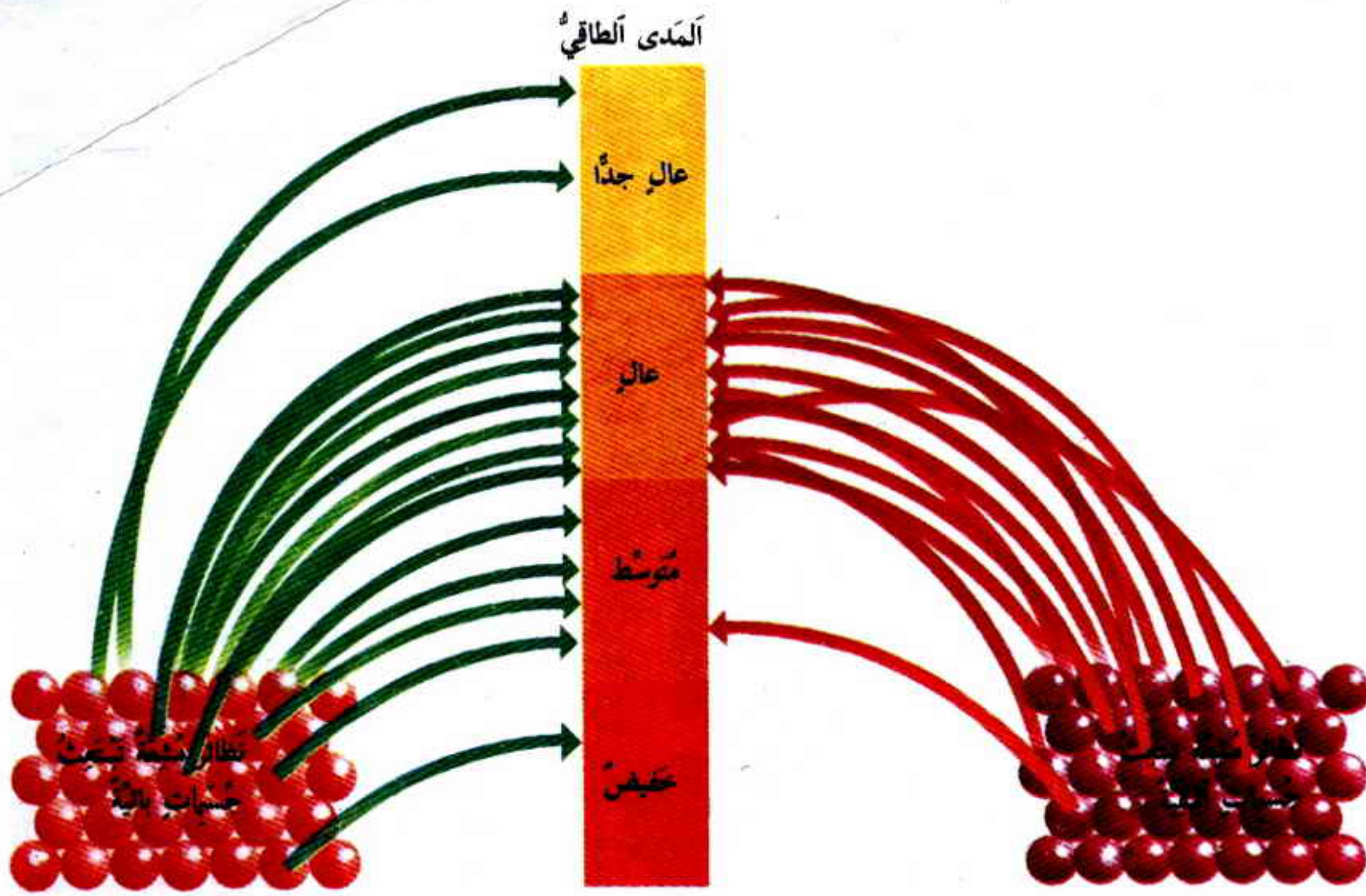
إلى أسْفَل

ماري كُوري (١٨٦٧ – ١٩٣٤) فيزيائيةٌ وكيميائيَّةٌ بُولُونيَّةٌ عَمِلَتْ في فَرنسا على دِراسةِ الفاعليَّةِ الإشعاعيَّة. وقد اكتَشَفَتْ بالتعاونِ معَ زَوْجِها بيير فِلِزَّيِ الراديُوم والبُولونيوم المُشِعَّيْن. وقد نَجَحَتْ ابنَتُها آيرين جُوليُو كُوري وزَوْجُها في تَحضيرِ أوَّلِ نَظيرٍ مُشِعٍّ من صُنْعِ الإنسان.

إلى اليسار

تختلفُ طاقةُ الجُسَيماتِ المُبتعثةِ من النَّظائرِ المُشِعَّةِ المُختلفةِ إلى حدٍّ بَعيد. وفي حالِ تساوي الطَّاقةِ في جُسَيمٍ ألفيٍّ وجُسَيمةٍ بائيَّةٍ تتميَّزُ الجُسَيمةُ البائيَّةُ بقُدرةٍ اختراقيَّةٍ أشدَّ وبمقدورِها النَّفاذُ عبرَ قطعةِ معدنٍ ثخينةٍ نوعًا. أمَّا الجُسَيمُ الألفيُّ فتوقفُه قطعةُ معدنٍ رقيقةٌ، وذلكَ عائدٌ لِثقلِه الذي يفوقُ ثقلَ الإلكترونِ (أو جُسَيمة بيتا) بأكثرَ من ٧٠٠٠ مرَّة.

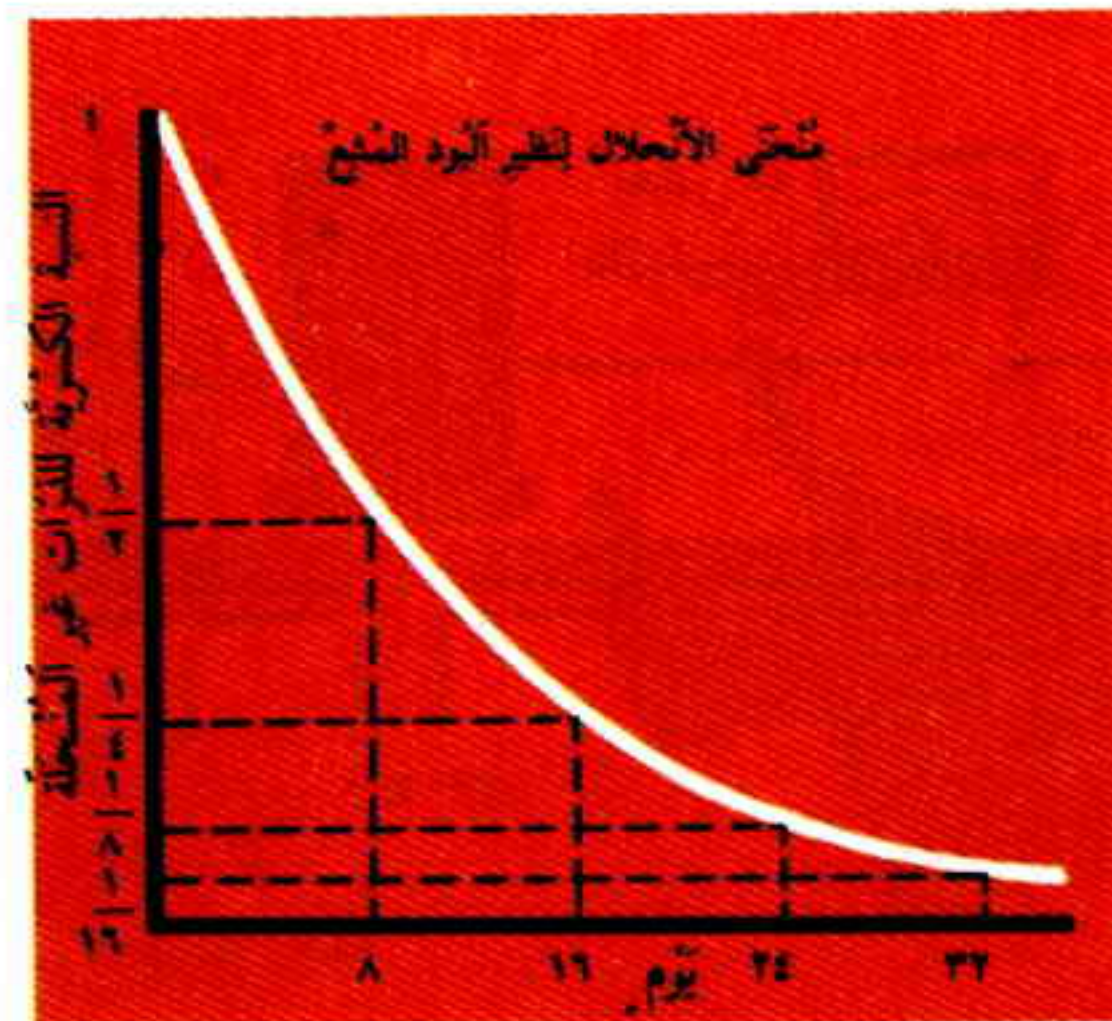
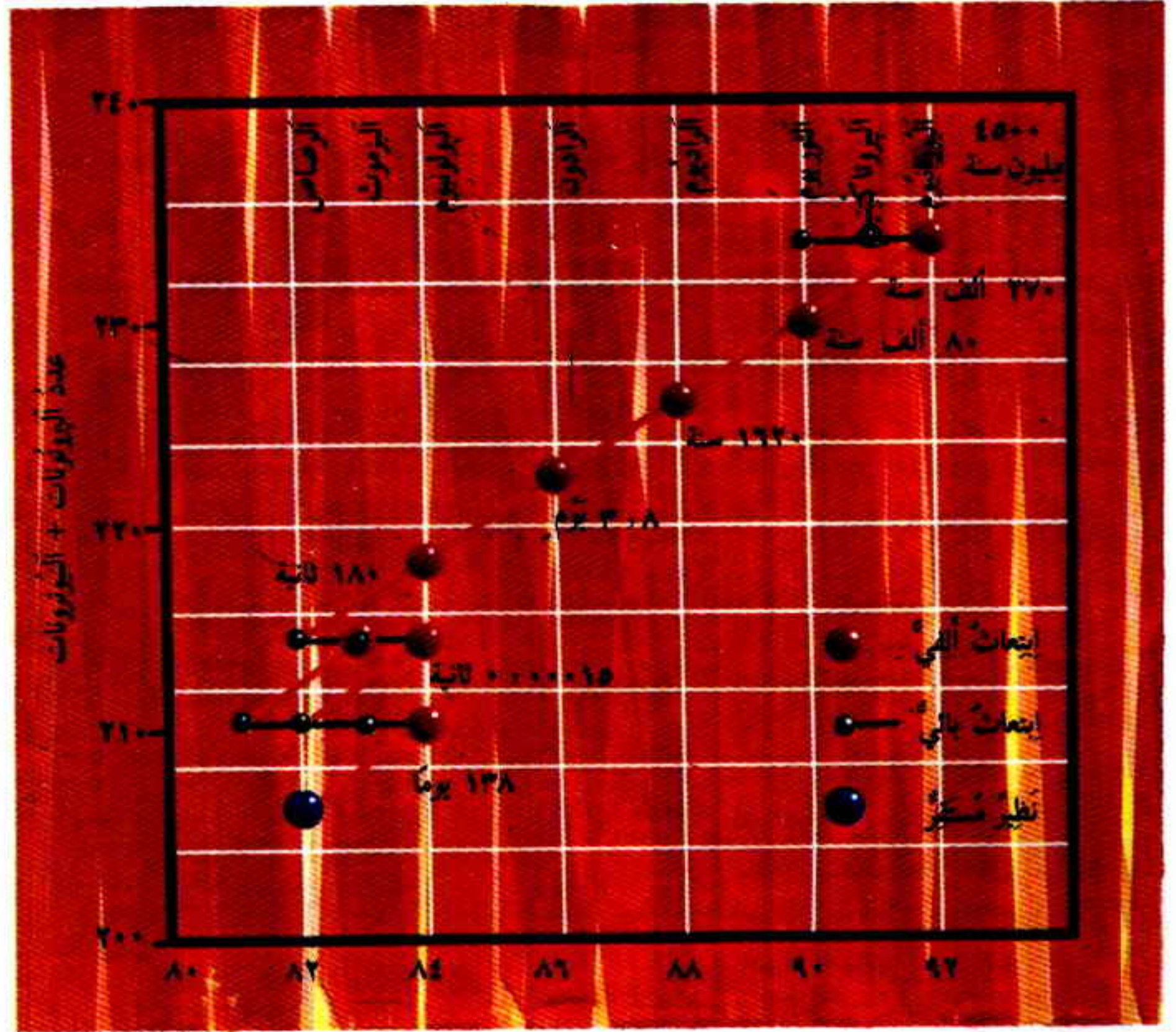
إلى أسفل

سِلسِلةُ اليورانيُوم الإشعاعيَّةُ تبدأُ بانحِلالِ نَظيرِ اليُورانيُوم الذي يَحوي ما مَجمُوعُهُ ٢٣٨ پروتونًا ونيُوترونًا (٩٢ پروتونًا)، وتنتهي إلى نَظيرٍ مُستقرٍّ للرَّصاص. وتبدو على الرَّسمِ البَياني أعمارُ النِّصفِ لِبَعضِ نواتِجِ الانحِلالِ.

وإلكترونٍ (وجُسَيمٍ دَقيقٍ آخرَ يُسَمّى **نيُوترينو**). وهذا **الانحلالُ** لا يَحدثُ إلَّا في نَوى النَّظائرِ المُشِعَّة.

بَعْدَ ابتعاثِ النَّظيرِ المُشعِّ جُسَيمةً بائيَّةً يتحوَّلُ إلى نَظيرِ عُنْصرٍ آخَرَ يَزيدُ پروتونًا عَنْ سابِقِهِ. ولا يختلِفُ وَزْنُ النَّظيرَيْنِ الجَديدِ والأَصْليِّ بِشكْلٍ مَلْحُوظٍ إذْ إنَّ النيُوترونَ والپروتُونَ مُتساويان في الوَزْنِ تقريبًا.

والنَّظيرُ المُشعُّ يتحوَّلُ في الأَغْلَبِ إلى نَظيرٍ مُشعٍّ آخَرَ وهذا بِدَوْرِه إلى نَظيرٍ ثالِثٍ قَدْ يَنْحلُّ إلى نَظيرٍ مُشعٍّ رابعٍ وهكذا. وتَسْتَمِرُّ هذِه العَمليَّةُ حتَّى تَنْتَهيَ بِنَظيرٍ مُسْتَقِرٍّ، وتُؤلِّفُ مَجمُوعةُ النَّظائرِ المُشعَّةِ هذِه **مُتتاليَةً** أو **سِلْسِلَةً إشعاعيَّةً**. وهُنالِكَ أربَعٌ من هذِه المُسَلْسَلاتِ الإشعاعيَّةِ المَعْرُوفةِ، و**سِلْسِلَةُ اليُورانيُوم** هيَ إحداها.

والفَتْرَةُ التي يَسْتَغرِقُها انحِلالُ نِصْفِ النَّوى في النَّظيرِ المُشعِّ تُسَمَّى **عُمْرَ النِّصفِ** لِذلكَ النَّظير. وتتبايَنُ أعمارُ النِّصفِ لِلنَّظائرِ المُشعَّةِ فبَعْضُها لا يَتجاوَزُ جُزءًا صَغيرًا من الثَّانيةِ بَيْنَما يَمْتَدُّ بَعضُها إلى عِدَّةِ مَلايينِ المَلايينِ من السِّنين. ويَقِلُّ عَدَدُ نَوى النَّظيرِ المُشعِّ في المادَّةِ ذاتِ الفاعليَّةِ الإشعاعيَّةِ بانحِلالِ هذِه النَّوى تَدْريجيًّا.

وتُقاسُ **فاعِليَّةُ** المادَّةِ المُشعَّةِ بِعَدَدِ الانحِلالاتِ في الثَّانيَة، وهيَ بِذلِكَ تَتناقَصُ بِمُرورِ الزَّمَن. وتَعْتَمِدُ نِسْبَةُ هذا التَّناقُصِ على عُمْرِ النِّصْفِ لِلنَّظيرِ المُشعِّ.

إلى اليسار

مُنْحَنى الانحلالِ لِنظيرِ اليُود المُشعِّ الذي عُمْرُ النِّصفِ لهُ ٨ أيام. بَعْدَ ١٦ يومًا لا يَبْقَى من النَّوى الأصليَّةِ إلّا رُبْعُها، وهذا الكَسْرُ يَنْخَفِضُ إلى الثُّمْنِ بَعْدَ ٢٤ يومًا وإلى جُزءٍ من سِتَّةَ عَشَرَ بعد ٣٢ يومًا.

اَلنَّظائِرُ اَلمُشِعَّةُ

يُوجَدُ اَلعديدُ من اَلنَّظائرِ اَلمُشِعَّةِ طَبيعِيًّا في تَرْكيبِ اَلصُّخورِ على سَطحِ اَلأَرضِ. فَمِن كُلِّ ١٠٠ أَلفِ ذَرَّةِ بُوتَاسيوم مثلاً هُنالِكَ ذَرَّةٌ مُشِعَّةٌ، وَٱلكَثيرُ مِنَ اَلصُّخورِ بما فيها اَلغرانيتُ تَحوي مُرَكَّباتِ اَلبُوتاسيوم. والمَعروفُ أَنَّ نَظِيرَ اَلبوتاسيومِ اَلمُشِعَّ يَنْحَلُّ إلى نَظيرٍ مُستقِرٍّ مِنَ اَلأَرْغُونِ، وعُمْرُ اَلنِّصْفِ لِهذا اَلنّظيرِ اَلمُشِعِّ يَزيدُ على أَلفِ مَلْيُونِ سَنَةٍ. فَبِقياسِ اَلكمِّيَّةِ اَلمَوجُودةِ من هذَيْنِ اَلنَّظيرَيْنِ في عَيِّنَةٍ صَخْرِيَّةٍ مُحَدَّدَةٍ يُمكِنُ حِسابُ اَلزَّمَنِ اَلّذي بَدأَ فِيه أَوّلاً اَنحِلالُ نَظيرِ اَلبُوتاسيوم، وهذا هُو بالطَّبعِ تاريخُ تَشكُّلِ تِلكَ اَلعيِّنَةِ اَلصَّخْرِيَّةِ. وبِتحديدِ عُمرِ اَلصُّخورِ يُمكِنُ تَقديرُ عُمْرِ الأَرضِ. وبطَريقَةِ **اَلتأْريخِ بِاَلنَّظائِرِ اَلمُشِعَّةِ** قُدِّرَ عُمْرُ الأرضِ بِما يَتراوحُ بين ٣٠٠٠ و ٤٠٠٠ مَلْيونِ سَنَةٍ.

ويُمكِنُ اَستِخْدامُ **اَلتأْريخِ بِاَلكَرْبُونِ اَلمُشِعِّ** لِتَقْديرِ عُمْرِ اَلأَجسامِ اَلعُضْوِيَّةِ المَنْشأ اَلّتي يُقارِبُ عُمْرُها عِدَّةَ آلافٍ من اَلسِّنين. فهذِهِ اَلمَوادُّ اَلعُضوِيَّةُ، كَٱلخَشَبِ مَثلاً، كانَتْ حَيَّةً فِيما مَضَى. فَٱلنباتاتُ تَحْصُلُ على اَلكَرْبُونِ من ثاني أُكسيدِ اَلكَربونِ في اَلجَوِّ، وهذا الكَربونُ يَحوي نِسبَةً ضَئيلَةً لكِنَّها ثابِتَةً مِنَ اَلنَّظيرِ اَلمُشِعِّ (عُمْرُ النِّصف لِلكَربونِ المُشعِّ ٥٧٣٠ سنة). وبِالطَّبْعِ يَتوقَّفُ تَمثيلُ اَلكَرْبُونِ في الكائِنِ اَلحَيِّ بَعْدَ مَوتِه، لكِنَّ اَنحِلالَ اَلنظيرِ اَلمُشِعِّ يَسْتَمِرُّ. وبِتَحديدِ كَمِّيَّةِ الكربونِ اَلمُسْتَقِرِّ ونَظيرِه اَلمُشِعِّ اَلمُتَبقِّي يُمكِنُ تَحديدُ تاريخِ مَوْتِ اَلعَيِّنَةِ مَوضِعِ اَلبَحْثِ.

وأَعْمارُ اَلنِّصفِ لِلنظائِرِ اَلمَوجُودَةِ طَبيعِيًّا مَديدةٌ جدًّا. ولعَلَّ تِلْكَ اَلنَّظائر ذَوات أَعْمارِ النِّصفِ اَلقَصيرةِ قَد اَمَّحَتْ وزالَتْ بالاَنحِلالِ مُنْذُ آلافٍ أو مَلايِينِ السِّنين.

ولمّا كانَت هذه اَلنظائِرُ اَلمُشِعَّةُ ذاتَ فائِدةٍ قَيِّمَةٍ في مَجالاتِ اَلطِّبِّ وَالصِّناعَةِ وَالبَحْثِ العِلْميِّ كانَ على الإِنسانِ تَوليدُ مَوارِدِه مِنْها، وتُعرَفُ **بِاَلنَّظائِرِ اَلمُشِعَّةِ اَلصُّنْعِيَّةِ**. ويُحَضَّرُ اَلكَثيرُ مِنْها بِقَصْفِ اَلعَناصِرِ بِنيُوترونات عالِيَةِ اَلطَّاقةِ.

ولِلنَّظيرِ المُشِعِّ نَفْسُ اَلخَصائِصِ اَلكيماوِيَّةِ اَلّتي لِلنَّظيرِ اَلمُسْتَقِرِّ لِلْعُنْصُرِ نَفْسِه. وإِذا ما أُدْخِلَ النظيرُ اَلمُشِعُّ في جِسْمِ اَلإِنسانِ بِاَلحَقْنِ مَثَلاً فإِنَّه يَتْبَعُ اَلمَسارَ نَفْسَهُ اَلذي يَتْبَعُهُ اَلنظيرُ اَلمُسْتَقِرُّ. وتَتجمَّعُ بَعْضُ اَلعَناصِرِ كَٱليُودِ في

إلى أَسْفَل

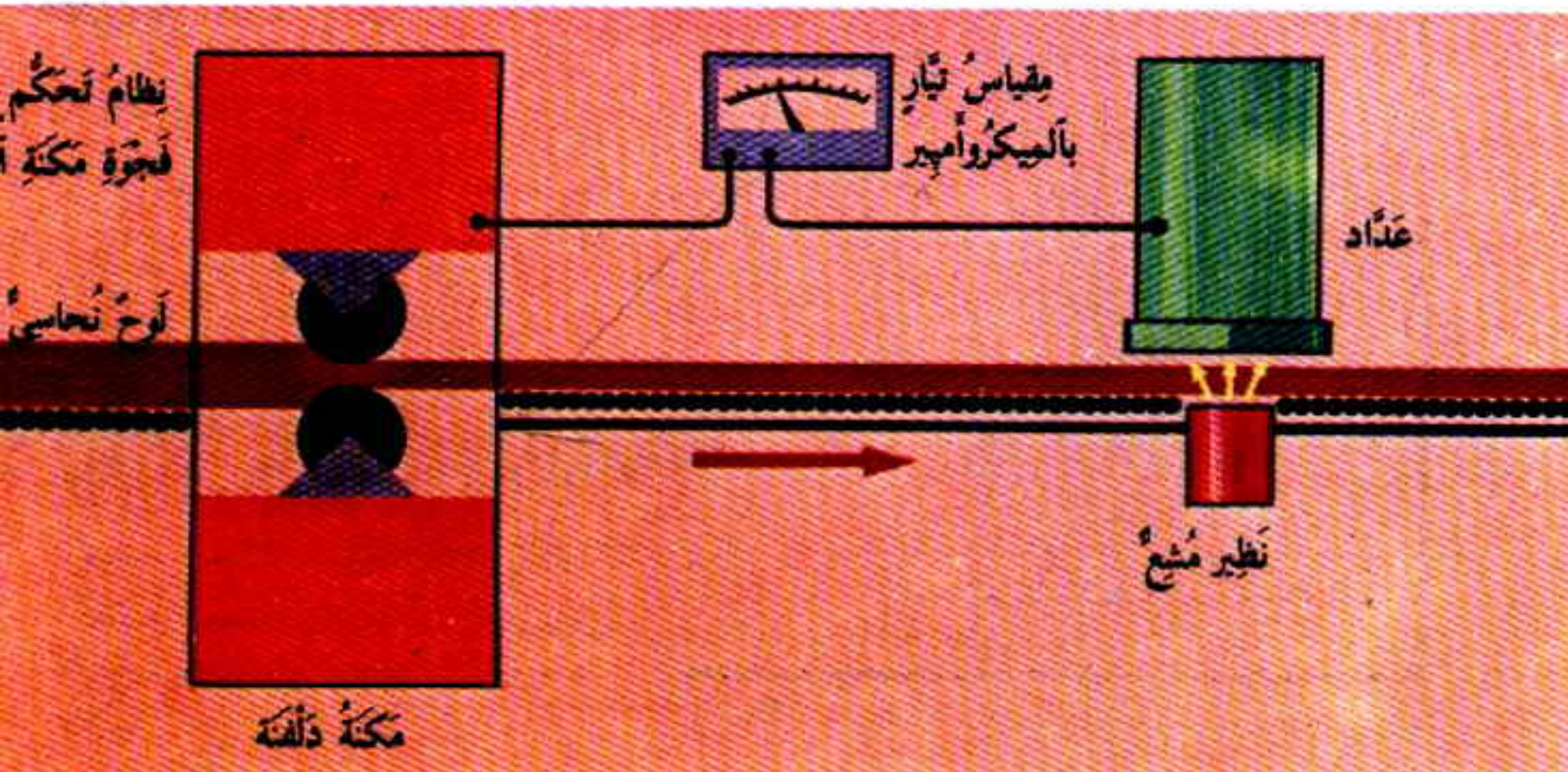
اِسْتُخْدِمَ اَلتأْريخُ بالكَربونِ اَلمُشِعِّ في تَحديدِ أَعْمارِ اَلكَثيرِ من اَلمَواقِعِ اَلأَثَرِيَّةِ القَديمَةِ والعادِيَّاتِ اَلّتي عُثِرَ عَلَيْها فِيها. فالمَعْروفُ مَثَلاً أَنَّ مَوقِعَ ستُونهِنجَ اَلحجريَّ في بريطانيا اَلّذي استَغرقَ بِناؤُهُ عِدَّةَ مِئاتٍ من اَلسِّنينَ قَد اَستُخْدِمَ في بِنائِهِ مَبْدَئِيًّا اَلخَشَبُ معَ اَلحِجارةِ. ومن تَقديرِ عُمْرِ اَلخَشَبِ اَلمُستَعْمَلِ بِاَلتأْريخِ بِالكَربونِ اَلمُشِعِّ نَعْلَمُ أنّه قد اَبْتُدئَ بِبِناءِ هذا المَوقِعِ حوالَى السَّنةِ ١٩٠٠ قبلَ اَلمِيلادِ أو قَبْلَ ذلكَ بِقَليلٍ.

إلى اَليمين

صُورةٌ بِالمَسْحِ لِكَمِّيَّاتِ اَلنَّظيرِ المُشِعِّ اَلمُتجمِّعةِ في مَناطِقَ مُختلِفَةٍ منَ اَلكَبِد. وتُبَيِّنُ الأَلوانُ الأَزرَقُ اَلقاتِمُ وَالأَخضَرُ حتّى الأَحمرِ كَمِّيَّاتٍ مُتزايِدةً مِنْهُ. والمَفروضُ أَن يَحدُثَ مُعظَمُ اَلتجمُّعِ في اَلمِنْطَقةِ اَلمَركَزِيَّةِ من اَلكَبِد، ويُشِيرُ مَوقِعُ اَلأَزرقاقِ اَلقاتِمِ على مَقْرُبَةٍ من مَركَزِ اَلمَسْحِ إلى وُجودِ وَرَمٍ سَرَطانيٍّ في تِلكَ اَلمِنْطَقَةِ من اَلكَبِد.

إلى أَسْفَل

يُمكِنُ اَستِخدامُ اَلنَّظائِرِ اَلمُشِعَّةِ في اَلصِّناعَةِ لِلتحَكُّمِ بِثَخانَةِ لَوحٍ مَعْدِنِيٍّ تَجْري دَلْفَنَتُهُ. إنَّ اَلتَّغَيُّرَ في ثَخانَةِ اَللَّوحِ يُؤثِّرُ في كَمِّيَّةِ الإِشعاعِ اَلتي تَصِلُ إلى اَلعَدَّادِ، وهذا يُرْسِلُ تِلقائِيًّا إِشارَةً كَهرَبائِيَّةً لِتَصحيحِ اَتِّساعِ اَلفَجْوَةِ بينَ أُسْطُوانتَي اَلدَّلْفَنَةِ.

إلى اليسار

مَكَنَةُ الكوبَلْتِ في مُسْتَشفًى . بَعْضُ ٱلنَّظائِرِ ٱلمُشِعَّةِ ومِنْها ٱلكُوبلتيَّةُ تَنْبَعِثُ أَشِعَّةً جيميَّةً (وهي أشَدُّ نَفاذًا من ٱلأشِعَّةِ ٱلألِفيَّةِ وٱلبائيَّةِ) . وَهذه الأَشِعَّةُ شَبيهَةٌ بالأَشِعَّةِ ٱلسِّينِيَّةِ لكِنَّها أعْظَمُ طاقَةً . وتُنْتِجُ مَكَنَةُ ٱلكوبَلْتِ حُزْمَةً رَفيعةً من ٱلأشِعَّةِ ٱلجيميَّةِ تُسْتَخْدَمُ في ٱلمُعالَجَةِ ٱلشُّعاعيَّةِ لِلأورامِ ٱلسَّرطانيَّةِ .

مَكانٍ مُعَيَّنٍ أو في عُضْوٍ مُحَدَّدٍ من ٱلجِسْمِ وفي حالَةِ ٱلخَلَلِ ٱلوَظيفيِّ يَتَجمَّعُ في ٱلمكانِ أو ٱلعُضوِ أكْثَرَ بكَثيرٍ أو أقَلَّ بكَثيرٍ ممَّا يَجِبُ . ولَمَّا كانَ قِياسُ ٱلإشعاعِ ٱلمُنْبَعَثِ منَ ٱلنَّظيرِ المُشِعِّ بالِغَ ٱلدِّقَّةِ فإنَّ بالإمكانِ كَشْفَ كَمِّيَّةِ الإشعاعِ ٱلمُبْتَعَثِ منَ ٱلنَّظائرِ ٱلمُشِعَّةِ في ٱلجِسْمِ وتَحديدَ ما إذا كانَ ٱلعُضْوُ أو ٱلمَوقِعُ المختصُّ مُصابًا بِمَرضٍ كالسَّرطانِ مَثَلاً .

وتيّاراتُ ٱلجُسَيْماتِ ٱلألِفيَّةِ وٱلبائيَّةِ المُبتعثَةُ من ٱلنظائرِ المُشِعَّةِ هي نَوْعٌ من **ٱلإشْعاعِ ٱلمُؤَيِّنِ** ، وهيَ في هذا ٱلمَجالِ شَبيهةٌ بالأَشِعَّةِ ٱلسِّينِيَّةِ وٱلأشِعَّةِ فَوقَ ٱلبَنَفْسَجيَّةِ . فالطاقَةُ ٱلعاليَةُ ٱلّتي تَتَميَّزُ بها هذه ٱلأشِعَّةُ وٱلجُسَيْماتُ كافِيَةٌ لِنَزْعِ إلِكْتروناتِ ٱلغِلافِ ٱلخارجيِّ لِذرّاتِ أو جُزَيئاتِ ٱلموادِّ ٱلّتي تَسْري عَبْرَها . ويُسْتَخْدَمُ هذا ٱلتأثيرُ ٱلمُؤَيِّنُ في مُعالَجةِ ٱلسَّرطانِ .

وفي جِسْمِ ٱلإنسانِ كَثيرٌ منَ ٱلجُزَيئاتِ ٱلمُعَقَّدَةِ ٱلتركيبِ جدًّا وهيَ أيْضًا مُعَرَّضَةٌ لِلتَّلَفِ بفِعْلِ هذهِ ٱلإشعاعاتِ ، فلا تَعُودُ قادِرَةً على ٱلتحكُّمِ في ٱلعَمَلِيّاتِ ٱلجارِيَةِ في خَلايا ٱلجِسمِ ، ويَنْتَهي ٱلأَمْرُ بمَوتِ تِلكَ ٱلخلايا . كَذلِكَ فإنَّ خَلايا ٱلسَّرطانِ عاليةُ ٱلفعّاليَّةِ إلى دَرَجةِ ٱلخُطورَةِ ، ويُمكنُ استِخْدامُ الإشعاعاتِ ٱلمُؤَيِّنَةِ في ٱلقَضاءِ عَلَيْها . وهكَذا فإنَّ الإشعاعَ ٱلمُؤَيِّنَ سَيْفٌ ذُو حَدَّينِ – مُفيدٌ وقد يَضُرُّ ، ولِذا يَنْبَغي ٱستِخْدامُه بغايَةِ ٱلعِنايَةِ وٱلحِرْصِ .

إلى أسْفَل

عَدّادُ جيجَر هُو جِهازٌ لِلْكَشْفِ عن ٱلمَوادِّ ٱلمُشِعَّةِ ، وبواسِطَةِ نَبَضاتِهِ ٱلمَسموعَةِ يُمكِنُ عَدُّ ٱلجُسَيْماتِ ٱلألِفيَّةِ أو ٱلبائيَّةِ ٱلمارَّةِ عَبْرَه . يَحوي عَدّادُ جيجَر غازًا خَفيضَ ٱلضَّغْطِ يُؤَيِّنُهُ ٱلإشعاعُ ٱلعابِرُ ، وتُؤثِّرُ ٱلأيوناتُ ٱلناتِجَةُ في تَوليدِ فُلْطيَّةٍ في ٱلدائرةِ ٱلإلكترونيَّةِ ٱلمتَّصِلَةِ بٱلعَدّادِ . وكُلُّ نَبْضَةٍ فُلْطيَّةٍ تُمَثِّلُ عُبورَ جُسَيْمٍ واحِدٍ .

عَدّادُ جيجَر نَقّاليّ

الإشعاعُ الداخِل
كاثُودٌ أسطوانيّ
سِلكُ الأنُود
0001207
عَدّاد
مُضَخِّم
مَصْدَرُ ٱلقُدْرَة

فوق

ٱلأشعَّةُ الكونيَّةُ منَ ٱلفضاءِ ٱلخارجي. تتألَّفُ هذه ٱلإشعاعاتُ ٱلعاليةُ ٱلطاقةِ بشكلٍ رئيسيٍّ من ٱلبروتونات وتحوي بعضَ ٱلجسيماتِ ٱلألفيَّة. تصطدمُ هذه ٱلجسيماتُ بالجزيئاتِ في ٱلهواء فتولِّدُ جسيماتٍ أوليَّةً أخرى. وبالرَّغمِ منْ حَجْبِ ٱلطَّبقةِ ٱلجوِّيَّةِ فإنَّ هذه ٱلجسيماتِ تصلُ إلى مُوازاةِ سطحِ ٱلبحرِ بمُعدَّلِ جُسَيْمٍ على ٱلسَّنتيمترِ ٱلمربَّعِ في ٱلثَّانية. إنَّ مَصْدرَ ٱلأشعَّةِ ٱلكونيَّةِ لا يزالُ مَجْهولاً، ويُحتملُ أنْ يكونَ مَصْدَرُها نُجومًا مُتفجِّرةً (من ٱلمُتجدِّداتِ ٱلعُظمى) في ٱلفضاءِ ٱلخارجيِّ.

اَلجُسَيْماتُ ٱلأوَّلِيَّةُ

تتألَّفُ ٱلمادَّةُ من مَجموعاتٍ من ٱلذرَّاتِ. وكانَ جُون دالْتُون في نَظَريَّتِه ٱلذَّرِّيَّةِ في أوائلِ ٱلقَرْنِ ٱلتاسعَ عَشرَ قد ٱفترضَ أنَّ ٱلذرَّاتِ غَيْرُ قابلَةٍ لِلتَّجزئةِ إلى أجسامٍ أَصْغَر، ونَحْنُ نَعْلَمُ ٱليومَ أنَّ هذا مُخالِفٌ لِلْحقيقةِ. فٱلذرَّةُ تتكوَّنُ مِنْ نَواةٍ مَركَزيَّةٍ تَدورُ حَولَها إلكترونات، والنَّواةُ تَشْتَمِلُ علَى پروتُوناتٍ ونيُوتْرُونات. وهذهِ ٱلإلكتروناتُ وٱلپروتُوناتُ وٱلنيُوترُوناتُ هيَ **ٱلجُسَيْماتُ ٱلأَوَّلِيَّةُ** – وهذا يَعني أنَّها ٱلوَحداتُ ٱلأساسيَّةُ لِلمادةِ وأنَّه لا يُمكِنُ تَجزِئتُها إلى جُسَيْماتٍ أَصْغَر.

وبالرَّغْمِ من أنَّ هذهِ ٱلجُسَيْماتِ غَيْرُ قابلةٍ لِلتَّجزئة فإنَّ بَعْضَها **غَيْرُ مُستقِرٍ** وقَدْ يَتحوَّلُ أو **يَنْحَلُّ** إلى جُسَيْماتٍ أَوَّلِيَّةٍ أُخرى، فَهُوَ إذَنْ مَحْدودُ ٱلأَجَلِ.

وٱلنيُوتْرونُ غَيْرُ مُستَقِرٍّ خارجَ ٱلنَّواةِ، فَهُوَ يَنْحَلُّ بَعْدَ حوالَى ١٢ دَقيقةً إلى پُروتونٍ وإلكترونٍ وجُسَيْمٍ آخَرَ يُسَمَّى ٱلنيُوتْرينُو. وهذه ٱلجُسَيْماتُ ٱلثلاثَةُ مُستَقِرَّةٌ فَلا تَنْحَلُّ إلى سِواها. **وٱلنيُوترينُو** هُوَ في ٱلواقعِ جُسَيْمٌ غَريبٌ إذْ لا كُتْلَةَ لَهُ ولا شِحْنَة، فما هُوَ إلَّا مُجرَّدُ حُزْمَةٍ منَ ٱلطَّاقةِ. وهَذا ما يَجْعَلُ ٱلكَشْفَ عَنْهُ بالِغَ ٱلصُّعوبَةِ ويُفسِّرُ بالتّالي تأَخُّرَ ٱكتِشافِهِ عِلْميًّا حتى عام ١٩٥٦.

وٱلفوتُونُ (أوٱلكَمُّ ٱلضَوئيُّ) هو أيضًا منَ ٱلجُسَيْماتِ ٱلأولِيَّةِ، وهُوَ مُسْتَقِرٌّ عديمُ ٱلكُتْلَةِ وٱلشِّحْنَةِ كٱلنيُوترينُو، وهو مِثْلُهُ أيضًا من حَيْثُ إنَّهُ حُزْمَةٌ من ٱلطاقةِ. ويُمكِنُ ٱعتِبارُ ٱلأمواجِ ٱلرَّادِيَّةِ وٱلضَّوءِ وٱلأشِعَّةِ ٱلسِّينيَّةِ تياراتٍ من ٱلفوتوناتِ (أُنظرْ صفحة ١٣٨). فأَنْماطُ ٱلإشعاعِ هذهِ لا تَخْتَلِفُ إلَّا بكَمِّيَّاتِ ٱلطاقةِ في ٱلفوتُوناتِ.

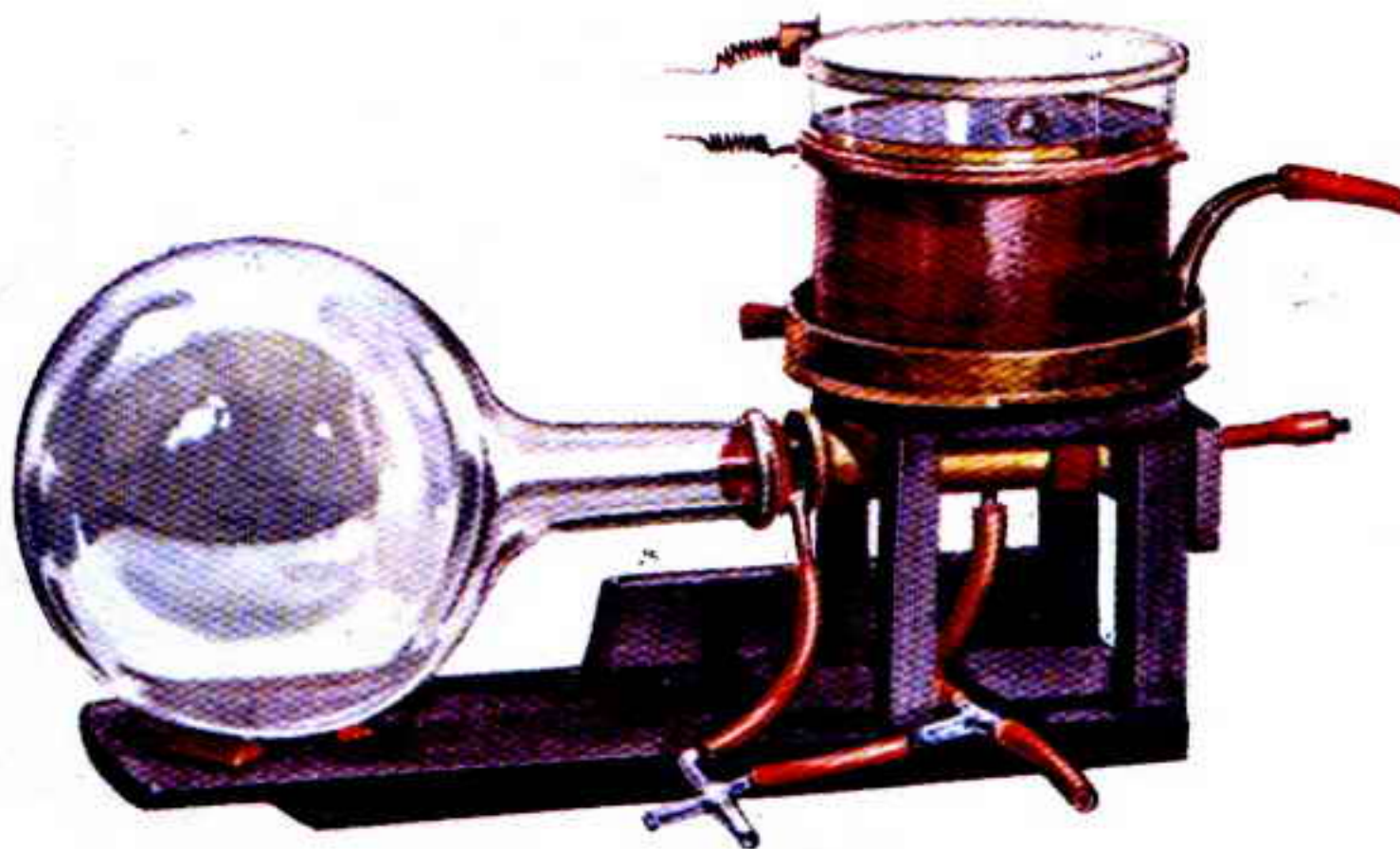
وهنالِكَ عددٌ كبيرٌ من ٱلجُسَيْماتِ ٱلأوَّلِيَّةِ بالإضافَةِ إلى ما سَبَقَ ذِكْرُه، وكُلُّها غَيْرُ مُسْتَقِرَّةٍ فَبَعْضُها يَنْحَلُّ في جُزْءٍ صَغيرٍ من ٱلثانِيَةِ. وقَدْ تَتَفاعَلُ ٱلجُسَيْماتُ ٱلأوَّلِيَّةُ فَتُنْتِجُ جُسَيْماتٍ أُخرى لكِنَّ هذهِ ٱلتَّفاعُلاتِ تَحكُمُها قوانينُ مُحَدَّدَةٌ. فٱلشِّحْنَةُ ٱلكُلِّيَّةُ لِلجُسَيْماتِ ٱلمُتَفاعِلَةِ (أو ٱلمُنحَلَّةِ) مُساوِيَةٌ حَتْمًا لِلشِّحْنَةِ ٱلكُلِّيَّةِ للجُسَيْماتِ ٱلمُتَكَوِّنَةِ. فعِندَ ٱنحِلالِ ٱلنيُوترونِ تَتوازَنُ شِحنَتُه ٱلصِّفْرِيَّةُ بِشِحْنَةِ ٱلبروتُونِ ٱلمُوجَبَةِ وٱلشِّحْنَةِ ٱلمُساوِيَةِ ٱلسَّالِبَةِ للإلكترونِ. ويُعرَفُ هذا **بِمَبْدإِ حِفْظِ ٱلشِّحْنَةِ**. وهُنالِكَ عِدَّةُ خَصائصَ أُخرى غَيْرَ ٱلشِّحْنَةِ يَتَحَتَّمُ بَقاؤُها ثابِتَةً أَيْضًا.

ويَدْرُسُ **ٱلفيزيائِيُّونَ ٱلنَّوَوِيُّونَ** خَصائِصَ ٱلجُسَيْماتِ ٱلأوَّلِيَّةِ وتَفاعُلاتِها. وقد ٱكتُشِفَ ٱلعَديدُ منَ ٱلجُسَيْماتِ في **ٱلأشِعَّةِ ٱلكَونِيَّةِ**، وهذهِ ٱلأشِعَّةُ تأتينا منَ ٱلفَضاءِ ٱلخارِجيِّ

إلى ٱليسار

نَموذَجٌ لِلحُجْرَةِ ٱلغَيْمِيَّةِ ٱلتي ٱستَخدَمَها وِلْسُن لِتِبْيانِ مَساراتِ ٱلجُسَيْماتِ ٱلأوَّلِيَّةِ في غازٍ مُشْبَعٍ بِبُخارِ ٱلماء.

إلى أَقْصَى ٱليَسار

صُورةٌ لِحُجْرةٍ فُقَّاعِيَّةٍ. تَحتوي حُجْرَةُ ٱلفُقَّاعاتِ على ٱلهَيْدروجين ٱلسَّائِلِ. وعِنْدَما تَدْخُلُ ٱلآلَةَ بَعْضُ ٱلجُسَيْماتِ ٱلمَشْحُونَةِ تتكوَّنُ في إثْرِها فُقَّاعاتٌ صَغيرةٌ تُبَيِّنُ مَسالِكَها، وهذهِ ٱلفقاقيعُ يُمكِنُ تَصويرُها. وعِنْدَ ٱصطِدامِ هذهِ ٱلجُسَيْماتِ بِٱلبروتوناتِ في نَوى ذَرَّاتِ ٱلهَيْدرُوجينِ تَتَكَوَّنُ جُسَيْماتٌ أوَّلِيَّةٌ أُخرَى وتُشكِّلُ مَساراتٍ جَديدةً. وشَكْلُ هذهِ ٱلمَساراتِ يُساعِدُ ٱلمُختَصِّينَ في ٱلتَّعرُّفِ على نَوعِيَّةِ ٱلجُسَيْمِ.

إلى اليسار

جُزْءٌ مِن مُسارعَةِ البروتُوناتِ في المَركزِ الأوربِّيِّ للأبحاثِ النوويَّةِ بجنيف. لِلْحُصولِ على بروتُوناتٍ عاليَةِ الطاقَةِ تُزادُ سُرعَةُ البروتوناتِ الأوَّليَّةِ إلى دَرَجَةٍ عاليَةٍ جِدًّا بوَسائِلَ كَهربائيَّةٍ. هذهِ المُسارعَةُ حَلْقيَّةُ الشَّكْلِ وتُسْتَخْدَمُ المَغانِطُ فيها لإبقاءِ البروتوناتِ في مَسارِها الدائريِّ في حُزْمَةٍ ضيِّقَةٍ.

إلى أسْفَل

إرنِسْت أورلاندو لورَنْس (١٩٠١ – ١٩٥٨) فيزيائيٌّ أمريكيٌّ قامَ ببِناءِ أوَّلِ سيكلوترُون (مُسارِعَةِ بروتوناتٍ مَداريَّةٍ) بالتعاوُنِ مع مِلْتُون ستانْلي لِفِنْجِستُون عامَ ١٩٣١. والسَّيكلوترون هو مُسارِعَةُ جُسَيْماتٍ يُمكِنُها توليدُ حُزْمَةٍ عاليَةِ الطاقَةِ من البروتُوناتِ أو مِنْ جُسَيْماتٍ أُخرى.

وتتألَّفُ بشَكْلٍ رئيسيٍّ مِنْ بُرُوتُوناتٍ عالِيَةِ الطاقَةِ كَما تَحوي أيْضًا جُسَيْماتٍ أَلِفيَّةً ونَوى بَعْضِ الذرَّاتِ الأثْقَلِ قَليلاً.

عِنْدما تَدْخُلُ الأشِعَّةُ الكَونِيَّةُ جَوَّ الأرضِ تَصْطَدِمُ بجُزَيئاتِ الأُكسجينِ والنِّتْروجينِ في الهَواءِ ويَنْتُجُ عن هذِهِ الاصطِداماتِ جُسَيْماتٌ أوَّليَّةٌ كالإلكترونات والنيوترينُوات والبُروتُونات والمِيزُونات. وهنالِكَ أنواعٌ مُخْتَلِفَةٌ مِنَ **المِيزونات**، بَعْضُها مَشْحُونٌ، وكُلُّها أخَفُّ وَزْنًا بِكَثيرٍ مِنَ البُروتُون.

ويَسْتَطيعُ العُلَماءُ حاليًّا تَوليدَ حُزْمَةٍ إشعاعِيَّةٍ من البُروتونات العالِيَةِ الطّاقَةِ بواسِطَةِ مَكنَةٍ خاصَّةٍ تُسَمَّى **مُسارِعَةَ الجُسَيْماتِ**. وقد صُنِعَتْ أُولَى هذه المُسارِعاتِ في الثلاثينيَّاتِ من القَرْنِ الحالِيِّ. ومُنْذُ ذلِكَ الحِينِ صُمِّمَتْ مَكَناتٌ بالِغةُ التعْقيدِ لِتَوليدِ حُزَمٍ إشْعاعِيَّةٍ من البُروتونات والإلكْترونات بطَاقاتٍ تَزيدُ عِدَّةَ آلافٍ مِنَ المَرَّاتِ على تِلْكَ الَّتي كانَتْ تُوَلِّدُها المُسارِعاتُ الأُولى. وتُوَجَّهُ هذه الحُزَمُ لِتَصْطَدِمَ بذرَّاتِ المَوادِّ، وبخاصَّةٍ الهَيْدروجين، ثُمَّ تُدْرَسُ التفاعُلاتُ النَّاتِجَةُ. ومِنْ هذهِ الدِّراساتِ يَحْصُلُ العُلَماءُ على مَعلوماتٍ قيِّمَةٍ عَن التركيبِ الأساسِيِّ لِلمادَّةِ والأدوارِ الوَظيفِيَّةِ الَّتي تُؤدِّيها الجُسَيْماتُ الأوَّليَّةُ المُخْتَلِفَةُ.

الشِّحناتُ على الجُسَيْماتِ تَحْتَ الذرِّيَّةِ

الجسيم	الشحنة
إلِكْترون	الشحنة : ـ ش
كواك (كوارْك)	الشِّحنة : ـ $\frac{٢}{٣}$ الشحنة الإلكترونية = $\frac{٢}{٣}$ ش
كوَاك	الشِّحنة : $\frac{١}{٣}$ الشحنة الإلكترونية = ـ $\frac{١}{٣}$ ش
كوَاك	الشِّحنة : $\frac{١}{٣}$ الشحنة الإلكترونية = ـ $\frac{١}{٣}$ ش
النيوترُون	الشِّحنَة : + $\frac{٢}{٣}$ ش ـ $\frac{١}{٣}$ ش ـ $\frac{١}{٣}$ ش = صِفر
البروتُون	الشِّحنَة : + $\frac{٢}{٣}$ ش + $\frac{٢}{٣}$ ش ـ $\frac{١}{٣}$ ش = ش

إلى اليمين

من المُحتَمَلِ أن تكُونَ جُسَيْماتٌ كالبروتُون والنيُوترون مؤلَّفَةً في الواقِعِ مِنْ جُسَيْماتٍ أصْغَرَ. وقَد سُمِّيَت هذهِ الجُسَيْماتُ بالفِعْلِ كَوَاكات. وهنالِكَ ثلاثةُ أنواعٍ رئيسيَّةٍ من الكواك تَخْتَلِفُ كُتَلُها اختِلافًا ضَئيلاً. وشِحْنَةُ الكَواك تُعادِلُ $\frac{٢}{٣}$ أو $\frac{١}{٣}$ الشِّحْنَةِ الإلِكْترونيَّةِ، وستُساعِدُ مُسارِعاتُ الجُسَيْماتِ على اكتِشافِها – إذا كانَتْ مَوجُودَةً حقًّا.

اَلاَنْشِطارُ اَلنَّوَوِيُّ

عِنْدَ تَحَطُّمِ نَواةِ اَلذَّرَّةِ تَنْدَفِعُ شَقَفُها اَلْمُتَطايِرَةُ بِسُرعَةٍ عَظيمَةٍ . واَلطّاقَةُ اَلْحَرَكِيَّةُ لِهذِهِ اَلشَّقَفِ تَتَحوَّلُ إلى طاقَةٍ حَرارِيَّةٍ مُكافِئَةٍ يُمكِنُ اَسْتِغْلالُها لِلْخَيْرِ في مَحَطّاتِ تَوليدِ اَلْقُدْرَةِ أو لِلشَّرِّ واَلدَّمارِ في اَلْقُنْبُلَةِ اَلذَّرِّيَّةِ .

ولِكَيْ تُتاحَ هذهِ اَلطّاقَةُ لِلاَسْتِغْلالِ يَنْبَغي إطْلاقُ **تَفاعُلٍ مُتَسَلْسِلٍ** في مادَّةٍ ذاتِ فاعِلِيَّةٍ إشْعاعِيَّةٍ . ويَحْدُثُ اَلتَّفاعُلُ اَلْمُتَسَلْسِلُ حينَما تَصْطَدِمُ اَلشَّقَفُ اَلْمُتَشَظِّيَةُ مِنْ نَواةِ ذَرَّةٍ بِنَواةِ ذَرَّةٍ (أو بِنَوى ذَرّاتٍ) أُخْرى فَتُسَبِّبُ اَنفِلاقَها . وهذِهِ اَلفِلْقاتُ تَرْتَبِطُ بِدَوْرِها بِنَوى أُخَر فَتُسَبِّبُ اَنشِطارَها وهكَذا دَوالَيْكَ . ويَحْصُلُ **اَلاَنْشِطارُ** في اَلنَّوى اَلمُشِعَّةِ اَلكَبيرَةِ كَنَوى اَلْيُورانيُوم نَتيجَةً لِقَصْفِها بِاَلْجُسَيْماتِ اَلذَّرِّيَّةِ . **واَلنُيوتْرُوناتُ** بِشَكْلٍ خاصٍّ هِيَ اَلْجُسَيماتُ اَلذَّرِّيَّةُ اَلأَنْسَبُ لِهذا اَلغَرَضِ ، فهِيَ بِكَوْنِها عَديمَةَ اَلشِّحْنَةِ لا تُواجِهُ بِتَنافُرٍ مِنَ اَلنَّوى . وعِنْدَ اَصطِدامِ نيُوترونٍ بِنَواةِ بَعْضِ نَظائرِ اَلْيورانيُوم تَنْشَطِرُ نَواةُ اَلْيورانيُومِ إلى شَقفَتَيْنِ كَبيرَتَيْنِ مُتَساوِيَتَيْنِ تَقريبًا بالإضافَةِ إلى نيُوتْرونَيْنِ أو ثَلاثَةٍ . وبِدَوْرِها تَصْطَدِمُ هذهِ اَلنيُوترُوناتُ بِنَواتَيْ يورانيُوم أو ثَلاثٍ وتُسَبِّبُ اَنشِطارَها ، وهكَذا يَبْدأُ اَلتَّفاعُلُ اَلْمُتَسَلْسِلُ .

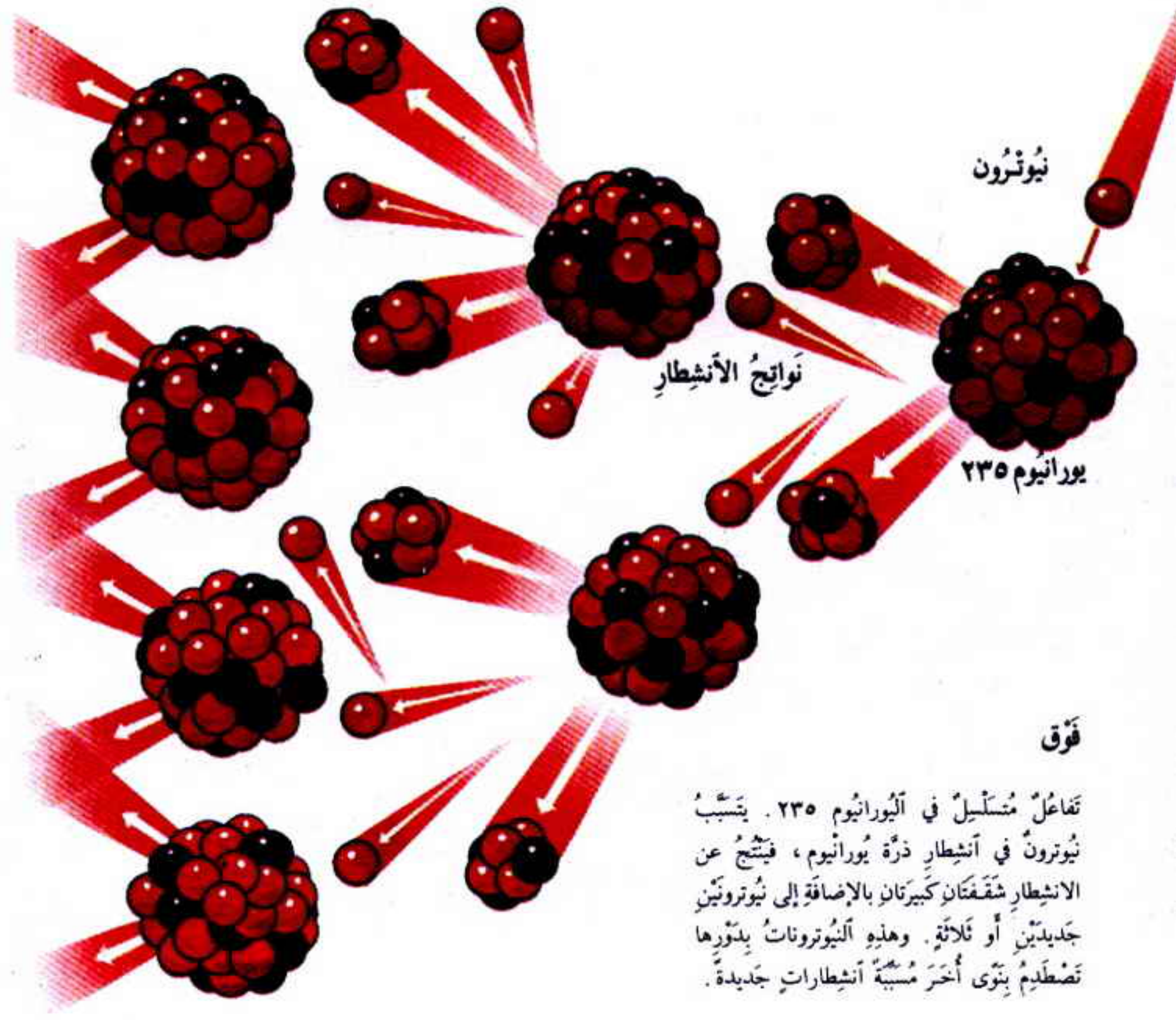
وتَنْطَلِقُ طاقَةُ هَذا **اَلتَّفاعُلِ اَلنَّوَوِيِّ** كُلُّها في جُزْءٍ مِنَ اَلثانِيَةِ مُحْدِثَةً اَنفِجارًا هائلاً مُدَمِّرًا . ولِتَحقيقِ هذا اَلتَّفْجيرِ يَنْبَغي أنْ يتأَلَّفَ اَلوَقودُ اَلذَّرِّيُّ مِنْ نَظيرِ اَلْيورانيُوم ٢٣٥ اَلنَّقِيِّ أو مِنْ نَظيرِ اَلبلوتُونيُوم ٢٣٤ اَلنَّقِيِّ . فكِلا هذَيْنِ اَلنَّظيرَيْنِ **اَنشِطارِيٌّ** ، أيْ تَنْشَطِرُ نَواتُه بِسهُولَةٍ لَدى اَصطِدامِ نيوتْرونٍ بِها .

أمَّا في اَلمُفاعِلِ اَلنَّوَوِيِّ فَلا بُدَّ من اَتِّخاذِ تَرْتيباتٍ تُبطِّئُ اَلتَّفاعُلَ اَلتَّفجيرِيَّ اَلمُدَمِّرَ اَلذي يَحْدُثُ في اَلقُنْبُلَةِ . ويَتِمُّ ذلكَ بِاَستِخْدامِ مَزيجٍ من نَظيرِ اَلْيورانيُومِ اَلاَنشِطارِيِّ ونَظيرِه اَلآخَرِ اَلأَكثَرِ تَوافُرًا واَلأَشَدِّ اسْتِقْرارًا وهُو اَلْيورانيُوم ٢٣٨ .

ويَحوي اَلْيورانيُومُ اَلطبيعيُّ اَلمُعَدَّنُ مِنَ اَلأرضِ حوالى ٧ في الأَلْفِ فَقَطْ من ذَرّاتِ اَلْيورانيُوم ٢٣٥ اَلاَنشِطارِيَّةِ . وهذا يَجعلُ اَلْيورانيُومَ من أَغلَى اَلمَعادِنِ قيمَةً وأَشَدِّها مَطْلوبِيَّةً .

ومِن غَيْرِ اَلمُمكِنِ اَلحُصولُ علَى تَفاعُلٍ مُتَسَلْسِلٍ في هذِهِ اَلمادَّةِ ، لِذا يَنْبَغي زِيادَةُ اَلنِّسبَةِ اَلمِئويَّةِ لِذَرّاتِ اَلْيورانيوم ٢٣٥ في اَلْيورانيومِ اَلطبيعيِّ أو إضافَةُ

نيُوتْرُون

نَواتِجُ الاَنشِطارِ

يورانيوم ٢٣٥

فَوْق

تَفاعُلٌ مُتَسَلْسِلٌ في اَلْيورانيوم ٢٣٥ . يَتَسبَّبُ نيُوترونٌ في اَنشِطارِ ذرَّةِ يورانيوم ، فيَنْتُجُ عن الانشِطارِ شَقَفَتانِ كَبيرَتانِ بالإضافَةِ إلى نيُوترونَيْنِ جَديدَيْنِ أو ثَلاثَةٍ . وهذِهِ اَلنيُوترُوناتُ بِدَوْرِها تَصْطَدِمُ بِنَوى أُخَرَ مُسَبِّبَةً اَنشِطاراتٍ جَديدةً .

سَحابَةٌ كَمْئِيَّةُ اَلشَّكْلِ

كَمِّيَّتانِ دُونَ اَلكُتْلَةِ اَلحَرِجَةِ

كُتْلَةٌ حَرِجَةٌ

إلى اَلْيَسار

تَفجير ذَرِّيٌّ . يُمكِنُ اَختِزانُ اَلْيورانيوم ٢٣٥ واَلبلُوتونيُوم ٢٣٤ الانشِطارِيَّيْنِ بِأَمانٍ إذا كانَتِ اَلكَمِّيَّةُ قَليلَةً (دُونَ بِضْعَةِ كيلُوغرامات) ، وذلكَ لِأَنَّ اَنفِلاتَ اَلكَثيرِ مِنَ اَلبرونونات عَبْرَ سَطحِ اَلمادَّةِ لا يَتْرُكُ مَجالًا لاَستِمرارِ اَلتفاعُلِ اَلمُتَسَلْسِلِ . وأَصْغَرُ كَمِّيَّةٍ مِنَ اَلمادَّةِ الاَنشِطارِيَّةِ تُتيحُ مَجالًا لاَستِمرارِ اَلتفاعُلِ اَلمُتَسَلْسِلِ تُسَمَّى اَلكُتلَةَ اَلحَرِجَةَ . فأيُّ كَمِّيَّةٍ من اَلمادَّةِ الاَنشِطارِيَّةِ أَكْبَرُ من اَلكُتلَةِ اَلحَرِجَةِ تَحتَفِظُ بِنيُوتروناتٍ في داخلِها كافِيَةٍ لاَستِمرارِ اَلتفاعُلِ اَلمُتَسَلْسِلِ . وفي اَلقُنْبُلَةِ اَلذرِّيَّةِ تُجْمَعُ كَمِّيَّتانِ كُلٌّ مِنهُما دُونَ اَلكُتلَةِ اَلحَرِجَةِ لِتَكوينِ كُتلَةٍ واحِدَةٍ فوقَ اَلكُتلَةِ اَلحَرِجَةِ ، فيَحدُثُ الاَنفِجارُ !

فوق

أنريكو فرمي (١٩٠١ – ١٩٥٤) فيزيائيٌّ إيطاليٌّ. شيَّدَ في أميركا أولَ مُفاعِلٍ ذرّيٍّ عام ١٩٤٢، عُرِفَ حينئذٍ بالقمينِ الذرّيِّ، في أحدِ ملاعبِ جامعةِ شيكاغو. وبذلكَ القمينِ الرِّياديِّ ابتدأَ عصرُ القُنبلةِ الذرّيّةِ والمُفاعلاتِ النّوويّةِ.

البلوتونيوم إليهِ. ويُعرف هذا **بإغناءِ الوقودِ الطبيعيِّ**. وتُعرَفُ المُفاعِلاتُ التي تستخدمُ الوقودَ المزوَّدَ النّظائرَ الانشطاريّةَ **بالمُفاعلاتِ السّريعةِ**.

ويُستخدَمُ في **المُفاعلاتِ الحراريّةِ** مبدأٌ آخرُ إذْ يُمزَجُ الوقودُ الذرّيُّ بمادّةٍ تُسمّى **المُهدِّئ**. وهيَ مادّةٌ مُتعادِلةُ الشّحنةِ وذاتُ ذرّاتٍ خفيفةٍ (كالكربونِ أو الماءِ) تصطدِمُ بها النيوترونات المُنبعثةُ عنِ الانشطارِ. وهذهِ الاصطداماتُ تُبطِّئُ النيوترونات. والمعروفُ أنَّ النيوترونات السّريعةَ كثيرًا ما تُمتَصُّ عندَ ارتطامِها بنظائرِ اليورانيوم ٢٣٨ المُستقرّةِ، لكنَّ ذلكَ لا ينطبقُ على النيوترونات البطيئةِ. ويعملُ إدخالُ المُهدِّئِ على تكثيرِ النيوترونات البطيئةِ وهذا يُتيحُ عددًا أكبرَ منها لإحداثِ انشطاراتٍ في نظائرِ اليورانيوم ٢٣٥ المُشعّةِ. وتُولِّدُ هذهِ الطريقةُ كمّيّاتٍ هائلةً من الطاقةِ.

وتُستخدَمُ الحرارةُ المُتولّدةُ في قلبِ المُفاعِلِ النّوويِّ (الذي يضُمُّ الوقودَ اليورانيوميَّ والمُهدِّئَ) لإحماءِ سائلٍ يُدعى **المُبرِّد**. ويسخُنُ المُبرِّدُ إلى درجةِ حرارةٍ عاليةٍ تُمكّنُهُ من إغلاءِ الماءِ. ويُستخدَمُ البُخارُ النّاتجُ، كما في محطّاتِ القُدرةِ التي تعملُ بالفحمِ أو النّفطِ، لإدارةِ تُربينٍ، والتُّربينُ بدورِه يُديرُ مُولِّدًا كهربائيًّا. وقد شُيِّدَ أوّلُ مُفاعِلٍ نوويٍّ حراريٍّ في بريطانيا عامَ ١٩٥٦ وتبعتها دولٌ كثيرة. وهنالكَ عدّةُ دولٍ اليومَ تمتلكُ محطّاتٍ نوويّةً لتوليدِ القُدرةِ الكهربائيّةِ لمُواجهةِ احتياجاتِها المُتزايدةِ من الطاقةِ نظرًا لتزايُدِ السُّكّانِ والتوسُّعِ في الصِّناعةِ. ومُفاعِلاتُ المُستقبلِ هيَ المُفاعلاتُ السّريعةُ المُولِّدةُ – أي التي تُولِّدُ منَ الموادِّ الانشطاريّةِ أكثرَ مِمّا تستهلِكُ.

فوق

مُفاعِلٌ حراريٌّ. يتألّفُ القلبُ من عناصرِ الوقودِ والمُهدِّئ. ويتمُّ التحكُّمُ بالتّفاعُلِ بواسطةِ إدخالِ قُضبانِ التحكُّمِ إلى داخلِ قلبِ المُفاعِلِ أو سحبِها منهُ، وهيَ مصنوعةٌ من مادّةٍ ماصّةٍ للنيوترونات (كالكادميوم أو البورون). ينقُلُ المُبرِّدُ الحرارةَ من قلبِ المُفاعِلِ لإغلاءِ الماءِ في دائرةٍ منفصِلةٍ. ويُستخدَمُ البُخارُ المُتولِّدُ في إدارةِ مُولِّدٍ تُربينيٍّ.

إلى اليمين

لقد جرى استخدامُ الطاقةِ النوويّةِ في حركةِ النّقلِ. وكانتِ السّفينةُ النّوويّةُ سفانا أوّلَ سفينةٍ نوويّةٍ تجاريّةٍ. وقد أُنزِلَتْ إلى البحرِ عام ١٩٥٩، وباستطاعتِها البقاءُ في عُرضِ البحرِ ثلاثَ سنواتٍ ونصفَ السّنةِ دونَ التزوُّدِ بالوقودِ. ويُقدِّرُ العلماءُ أنَّ طاقةَ كيلوغرامٍ منَ اليورانيوم تُعادِلُ طاقةَ ٢٠٠٠ طنٍّ من الفحمِ. ولا شكَّ أنَّ في ذلكَ أفضليّةً قصوى للسُّفنِ والغوّاصاتِ.

ٱلِٱنْدِماجُ ٱلنَّوَوِيُّ

إنشِطارُ ٱلنَّوى ٱلثَّقيلَةِ هُوَ إحدَى ٱلطُّرُقِ لِلْحُصولِ على ٱلطّاقَةِ ٱلنَّوَوِيَّةِ ، وٱندِماجُ ٱلنَّوى ٱلخَفيفَةِ هُوَ طَريقَةٌ أُخْرَى لِتَوليدِ هذه ٱلطّاقَة . فبِٱندِماجِ ذَرَّتَيْنِ من ٱلديوتِرْيُوم ، وهو نَظيرُ ٱلهَيْدروجينِ ٱلَّذي يُعرَفُ أحيانًا بِٱسْمِ ٱلهَيْدروجينِ ٱلثقيلِ ، تَنْتُجُ ذَرَّةُ هِلْيُوم وتَنْطَلِقُ كَمِّيَّةٌ عَظيمَةٌ من ٱلطّاقَةِ . وٱلواقِعُ إنَّ ٱلطّاقَةَ ٱلَّتي تَنْطَلِقُ عِنْدَ تَحَوُّلِ كيلوغرامٍ واحِدٍ من ٱلديُوتِرْيُوم إلى هِلْيُومٍ تَزيدُ سِتَّ مَرّاتٍ على ٱلطّاقَةِ ٱلناتِجَةِ مِنَ ٱنشِطارِ كيلوغرامٍ من ٱليُورانيُوم .

لكِنَّ تفاعُلاتِ ٱلِٱنْدِماجِ ٱلمَعروفَةَ **بِٱلتفاعُلاتِ ٱلنَّوَوِيَّةِ ٱلحَرارِيَّةِ** لا تَحْدُثُ إلَّا إذا تَصادَمَتْ ذَرّاتُ ٱلديُوتِرْيُوم بِطاقاتٍ عالِيَةٍ جِدًّا . وهذا يَعْني وُجُوبَ ٱنطِلاقِها بِسُرعَةٍ عالِيَةٍ جِدًّا ، وهذا بِدَورِه يَعني وُجُودَها في دَرجَةِ حَرارَةٍ عالِيَةٍ جِدًّا – تَزيدُ على دَرَجَةِ ١٠ مَلايينَ مِئَوِيَّة (سَنْتِغراد) . ومِثْلُ هذِهِ ٱلدَّرجَةِ ٱلعالِيَةِ مِنَ ٱلحَرارَةِ لا يَحْدُثُ عادَةً على سَطْحِ ٱلأَرضِ ، بَلْ في قَلْبِ ٱلنُّجومِ ٱلمُتَأَجِّجَةِ . وٱلواقِعُ إنَّ طاقَةَ ٱلشَّمسِ وسِواهَا مِنَ ٱلنُّجومِ ناتِجَةٌ مِنْ هذِهِ ٱلتفاعُلاتِ ٱلنَّوَوِيَّةِ ٱلحَرارِيَّةِ .

فَفي باطِنِ ٱلشَّمسِ يَتَحَوَّلُ ٱلهَيْدروجينُ إلى دُيُوتِرْيُوم ، وٱلديُوتِرْيُومُ إلى هِلْيُومٍ ، ويَحْدُثُ ذلكَ بتأثيرِ ٱلجاذِبِيَّةِ في مَرْكَزِ ٱلشَّمسِ ٱلَّتي تَشُدُّ ذَرّاتِ ٱلهَيْدروجين (ٱلبروتُوناتِ) بَعْضَها إلى بَعْضٍ ، مُوَلِّدَةً ضَغْطًا عالِيًا ودرجَةَ حَرارَةٍ مُرتَفِعَةً جِدًّا . وعِنْدَ ٱصطِدامِ نُيُوتْرُونٍ بِبْروتُونٍ تتكَوَّنُ نَواةُ دُيُوتِرْيوم ، ولَدَى ٱصطِدامِ نَواتَيْ دُيُوتِرْيُوم تَحْدُثُ سِلْسِلَةُ تَفاعُلاتٍ تَنْتَهي بِتَكَوُّنِ ٱلهِلْيُوم . وحَصيلَةُ هذه ٱلتفاعلاتِ كُلِّها أنَّ ٱلكُتْلَةَ ٱلكُلِّيَّةَ لِلديُوتِرْيُوم ٱلمُتفاعِلِ أَكْبَرُ من ٱلكُتلَةِ ٱلكُلِّيَّةِ لِلهِلْيُوم ٱلناتِجِ . وفَرْقُ ٱلكُتْلَةِ هذا ٱلمُسَمَّى **ٱلنَّقْصَ ٱلكُتْلِيَّ** يَتَحَوَّلُ إلى طاقَةٍ بِمُقْتَضَى قانونِ أينشتَيْن .

إنَّ تَوليدَ دَرَجَةِ حَرارَةٍ عالِيَةٍ بِٱلقَدْرِ ٱلكافي لِحُدوثِ هذه ٱلتَّفاعُلاتِ على سَطْحِ ٱلأَرضِ هُوَ أَمْرٌ نادِرٌ جِدًّا – وٱلتَّفجيرُ ٱلذَّرِّيُّ ٱلِٱنشِطارِيُّ (في ٱلقُنْبُلَةِ ٱلذَّرِّيَّةِ) هُوَ أَحَدُ ٱلمَصادِرِ لِتَوليدِ دَرَجَةِ حَرارَةٍ كَهذِهِ ، وذلكَ هُوَ مَبْدَأُ **ٱلقُنْبُلَةِ ٱلهَيْدروجينِيَّةِ** .

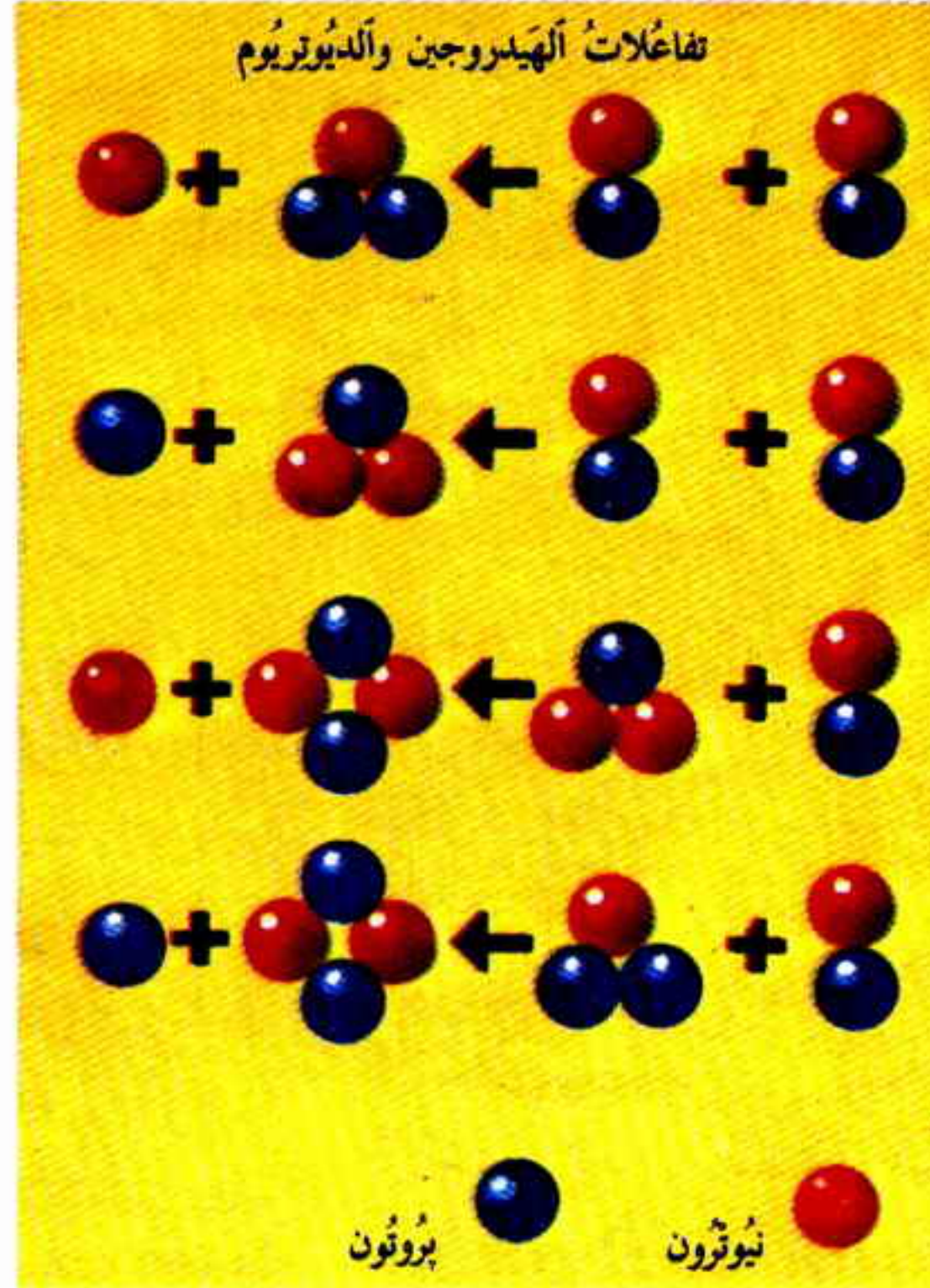
ولَو أَمكَنَ صُنْعُ مُفاعِلٍ ٱندِماجِيٍّ لَكانَ لَهُ مِيزاتٌ عُظْمَى على ٱلمُفاعِلِ ٱلِٱنشِطارِيِّ ٱلنَّمَطِ . فٱلحُصولُ على

إلى ٱليَمين

أَلْبِرت أينشتَيْن (١٨٧٩ – ١٩٥٥) العالِمُ الأَلمانيُّ ٱلعَظيمُ ٱلَّذي ٱستَوْطَنَ ٱلولايات ٱلمتحدة . وقد أَظهَرَتْ نَظَرِيَّتُهُ ٱلنِّسبِيَّةُ أنَّ ٱلكُتْلَةَ وٱلطّاقَةَ هُما شَكْلانِ مُتَكافِئانِ مُتَبادَلانِ بَعْضُها لِلآخَرِ . وفي ٱلتفاعُلاتِ ٱلنَّوَوِيَّةِ ٱلحَرارِيَّةِ تَتَحَوَّلُ بَعْضُ كُتْلَةِ ذَرّاتِ ٱلديُوتِرْيُوم إلى طاقَةٍ . وهذا هُوَ مَصْدَرُ طاقَةِ ٱلشَّمسِ وهُوَ أَيْضًا مَبْدَأُ ٱلقُنْبُلَةِ ٱلهَيْدروجينِيَّةِ .

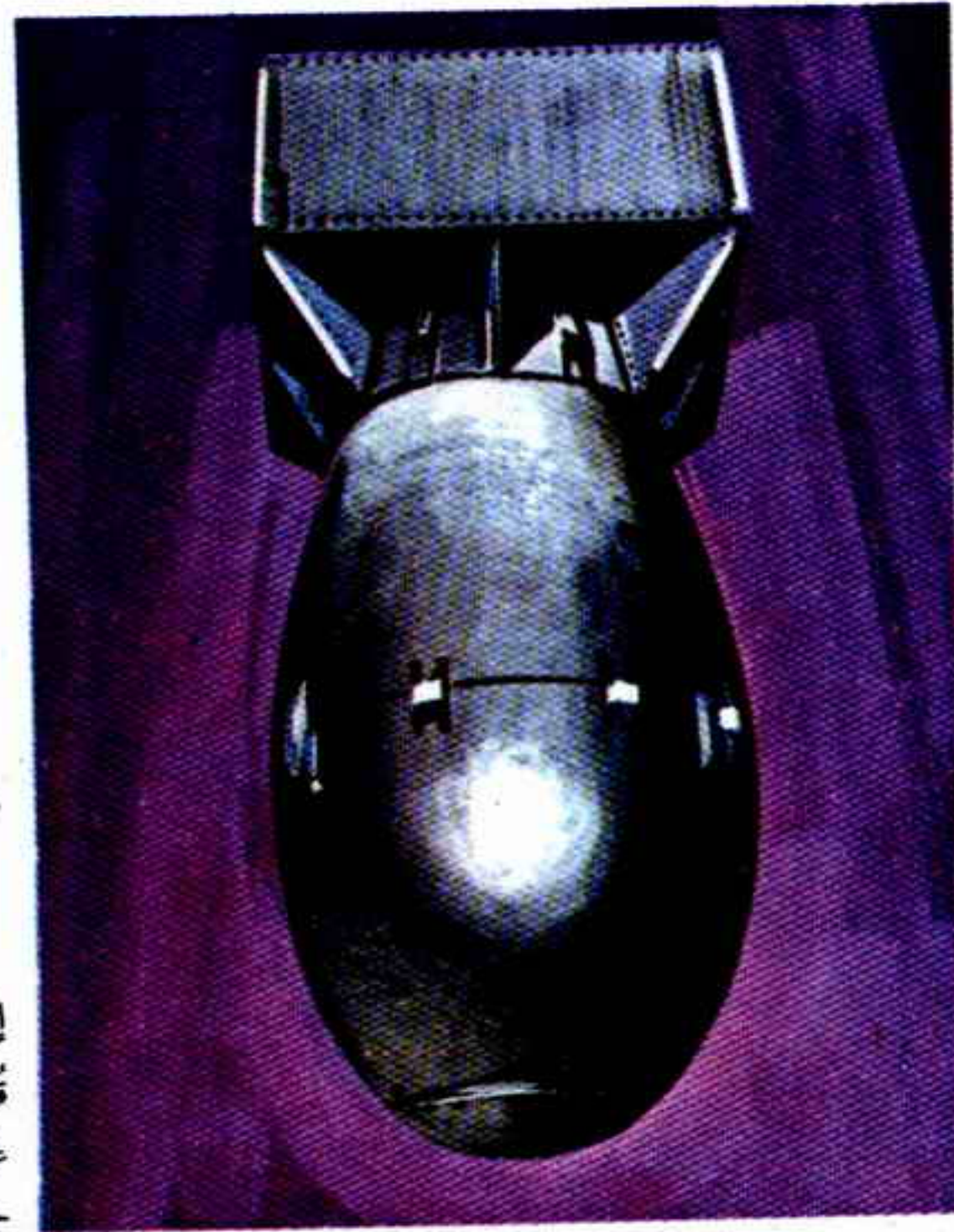
إلى ٱليَمين

تَحْدُثُ ٱلتفاعُلاتُ ٱلنَّوَوِيَّةُ ٱلحَرارِيَّةُ بَيْنَ نَوَى ٱلديُوتِرْيُوم ٱلَّتي تتألَّفُ ٱلنَّواةُ فيها مِنْ نُيُوتْرونٍ وبْرُوتُون . في ٱلتفاعُلِ ٱلأَوَّلِ تَنْدَمِجُ نَواتا دُيُوتِرْيُوم ويَنْتُجُ نَواةُ هِلْيُوم ٣ (بروتُونان ونُيُوترون) ونُيُوتْرونٌ إضافيٌّ . وفي ٱلتفاعُلِ ٱلثاني، وهُوَ أَيْضًا مُمْكِنُ ٱلحُدوثِ ، يَنْتُجُ نَظيرُ ٱلهَيدروجينِ ٱلثالِثُ ٱلمُسَمَّى تْرِيشْيُوم (بْرُوتونٌ واحِد ونُيُوترونان) . وفي ٱلتفاعُلَيْنِ ٱلأَخيرَيْنِ يَتَفاعَلُ ٱلتريشيُومُ وٱلهِلْيوم ٣ مَعَ ٱلديُوتِرْيُوم لإنتاجِ ٱلهِلْيُوم ٤ .

إلى ٱليَمين

إنَّ ٱلمُشْكِلَةَ الأَساسِيَّةَ في ٱلتَّفاعُلاتِ ٱلنَّوَوِيَّةِ ٱلحَرارِيَّةِ هِيَ في إيجادِ وَسيلَةٍ أو وِعاءٍ لِٱحتِوائِها . وأَحَدُ ٱلحُلولِ ٱلمَطْروحَةِ يَعْتَمِدُ على ٱلمَجالاتِ ٱلمِغنَطيسِيَّةِ لإبْقاءِ ٱلتَّفاعُلِ بَعيدًا عَن جُدْرانِ ٱلأُنْبوبِ . في دَرَجاتِ ٱلحرارةِ ٱلعالِيَةِ ٱلَّتي تَجْري فيها ٱلتَّفاعُلاتُ ٱلنَّوَوِيَّةُ ٱلحرارِيَّةُ تَفْقِدُ ٱلذرّاتُ إلِكْترُوناتِها وتُصْبِحُ مَجْمُوعَةً من ٱلإلِكْترُوناتِ وٱلنَّوَى ٱلمُوجَبَةِ ٱلشُّحناتِ ، ويُسَمَّى ٱلغازُ في هذِهِ ٱلحالَةِ بلازْما . فَفي وِعاءِ ٱلتَّفاعُلِ ٱلحَلَقِيِّ تُوَلَّدُ ٱلبلازْما بإمرارِ تَيّارٍ عالي ٱلشِّدَّةِ جِدًّا عَبْرَ ٱلغازِ ، وهذا ٱلتَّيّارُ نَفْسُهُ يُحْدِثُ مَجالاً مِغْنَطيسِيًّا يُخَصِّرُ ٱلبلازْما حاصِرًا إيّاها في مَرْكَزِ ٱلأُنبوبِ بَعيدًا عَن جُدْرانِه .

إلى ٱليَمين

بَعْضُ أَوعِيَةِ ٱختِبارِ ٱلتَّفاعُلاتِ مُسْتَقيمٌ ، وتُسْتَخْدَمُ ٱلمَرايَا ٱلمِغْنَطيسِيَّةُ (وهِيَ مَجالاتٌ مِغْنَطيسِيَّةٌ قَوِيَّةٌ حَوْلَ نِهايَتَي الأُنبوب) لِمَنْعِ ٱلبلازْما من مُلامَسَةِ أَطرافِ ٱلأُنْبُوبِ . وفي بَعْضِ ٱلتَّجارِبِ تُوَلَّدُ ٱلبلازْما بِواسِطَةِ حُزْمَةٍ مِنْ أَشِعَّةِ ٱللّيزَر .

إلى اليمين
لا يزالُ استخلاصُ الطاقةِ من التفاعلِ النوويِّ الحراريِّ في المرحلةِ الاختباريَّةِ. وإحدى الإمكانيَّاتِ المحتملةِ هي استخدامُ مادَّةٍ كالليثيوم السائلِ لاستخلاصِ الحرارةِ من أنبوبِ التفاعلِ، وهذهِ الحرارةُ تُستخدَمُ بدورِها في توليدِ البخارِ لتدويرِ مولِّدٍ تُربينيٍّ.

الوَقودِ الهيدروجينيِّ أكثرُ سهولةً وأقلُّ تكلفةً من الحصولِ على اليورانيوم. فاثنتانِ من الثلاثِ ذرَّاتٍ في جزيءِ الماءِ هيَ منَ الهيدروجينِ ومن كلِّ ١٠٠ ألفِ ذرَّةٍ هيدروجين هنالكَ ١٥ ذرَّةً منَ الديوتريوم. وهكذا يزوِّدُنا ماءُ البحرِ بكمِّياتٍ وافرةٍ جدًّا منَ الوقودِ!

وهنالِكَ ميزةٌ أخرى بالِغَةُ الأهمِّيَّةِ وهيَ أنَّ المفاعِلَ الانشطاريَّ يُنتِجُ فضلاتٍ مُشعَّةً خطِرةً ينبغي التخلُّصُ منها، وغالبًا ما يكونُ ذلكَ في البحرِ؛ أمَّا المفاعِلُ الاندماجيُّ فلا يُنتِجُ أيَّ فضلاتٍ خطِرةٍ.

ولكنْ للأسفِ، وبالرَّغمِ من المحاولاتِ المتواصلةِ في كثيرٍ من المختبراتِ، لم ينجحْ أحدٌ بعدُ في صُنعِ مُفاعِلٍ اندماجيٍّ. فهُنالِكَ صعوباتٌ رئيسيَّةٌ ثلاثٌ تعترضُ هذا السَّبيلَ – أولاها توليدُ درجةِ الحرارةِ العاليةِ الكافيةِ، المعروفةِ **بدرجةِ الاشتعالِ**، لِبدءِ التفاعُلِ. وثانيتُها بناءُ وعاءٍ يضُمُّ تفاعُلاً يجري على درجةِ حرارةٍ تُقاسُ بعدَّةِ ملايين. فالموادُّ المعروفةُ كلُّها تتبخَّرُ فورًا على درجاتِ الحرارةِ العاليةِ هذهِ. والصُّعوبةُ الثالثةُ هي في استخلاصِ الحرارةِ الناتجةِ من التفاعُلِ. لقدْ توصَّلَ العلماءُ إلى بلوغِ درجةِ الاشتعالِ للتفاعُلِ الاندماجيِّ في نبائطَ عِدَّةٍ لكنْ لِجزءٍ صغيرٍ من الثانيةِ فقطْ، وأصبحتِ المشكلةُ الآنَ تمديدَ هذهِ الفترةِ.

إلى اليمين
قُنبُلة نوويَّة. هذا النَّوعُ من القنابلِ الذرِّيَّةِ أُطلِقَ عليهِ اسم السَّمين (فاتْمان). وتزنُ الواحدةُ منهُ حوالَى ٤٥٠٠ كيلوغرام.

وكذلكَ فإنَّ مُشكِلةَ **الاحتواءِ** قدْ حُلَّتْ جزئيًّا باستخدامِ المجالاتِ المغنطيسيَّةِ كجُدْرانٍ لأوعيةِ هذهِ التفاعُلاتِ.

وسائل الاتصال والترفيه – مخترعوها وتاريخ اختراعها

الجهاز أو الوسيلة	النوع	التاريخ	المخترع	البلد	الحدث
التلغراف	وحيد السلك	١٨٣٥	مورس	الولايات المتحدة	إرسال الإشارات عبر الأطلسي للمرة الأولى
	كبل تحت الماء	١٨٦٦	فيلد	الولايات المتحدة	
الهاتف		١٨٧٦	بل	الولايات المتحدة	أول مكالمة هاتفية ناجحة
الفونوغراف (الحاكي)	أسطوانة أسطوانية	١٨٧٧	أديسون	الولايات المتحدة	أول آلة حاكية ناجحة
	أسطوانة مسطحة	١٨٨٧	برلينر	الولايات المتحدة	
السينما	فيلم صامت	١٨٩٥	الأخوان لوميير	فرنسا	أول عرض عام
	فيلم ناطق	١٩٢٣	دي فورست	الولايات المتحدة	أول عرض عام
الراديو		١٨٩٦	ماركوني	إيطاليا	أول اتصال ناجح بالأمواج الراديوية (اللاسلكي)
		١٩٠٦	فيسندن	الولايات المتحدة	أول عرض عام
المسجلة الشريطية		١٨٩٩	بولسن	الدانمارك	
التلفزيون	أبيض وأسود	١٩٢٦	بيرد	بريطانيا	أول عرض عام
	الملون	١٩٥٤	—	الولايات المتحدة	أول عرض عام ناجح

العناصر (الأجزاء) الكهربائية وعملها في الدوائر الكهربائية

العنصر	الرمز		عمله في الدائرة الكهربائية
بطارية			مصدر الطاقة، تزود الدائرة بالتيار
مقاومة		ثابتة القيمة متغيرة القيمة	تزيد المقاومة لسريان التيار المتناوب والمستمر
مكثف		ثابت القيمة متغير القيمة	يخزن الكهرباء، يمرر التيار المتناوب إذا كان تردده عاليًا بما فيه الكفاية، لا يمرر فيه التيار المستمر
ملف خانق			يقاوم تغيرات التيار، ويسوي تموجاته، يسمح بمرور التيار المستمر وكذلك التيار المتناوب إذا كان تردده خفيضًا بما فيه الكفاية
محول			يرفع أو يخفض الفلطية في الدائرة
دايود		صمام شبه موصل	يحول التيار المتناوب إلى مستمر (يقوم التيار)، يمكنه إمداد تيارات كبيرة على فلطيات عالية
ترايود			يتحكم في سريان التيار، زيادة (تضخيم) الفلطية وتوليد ذبذبات كهربائية
ترانزستور		م – س – م س – م – س	يعمل كالدايود، لكنه يعمل أيضًا على فلطيات منخفضة، وهو أصغر حجمًا وأرخص ثمنًا وأكثر اعتمادية
هوائي			لإرسال الأمواج الراديوية واستقبالها
التأريض			أي نقطة في الدائرة صفرية الفلطية

الاكتِشافاتُ والاختراعاتُ

عَجلَةُ عَربَةٍ بابِليَّةٍ

عَجلَةُ دَرَّاجَةٍ عَصْرِيَّةٍ

عَجلَةُ مَرْكبَةٍ يُونانِيَّةٍ

فَوقُ

بَعْضُ نَماذِجِ ٱلعَجلات :

إلى ٱليَمينِ عَجلَةُ عَرَبَةٍ قَديمَةٍ مِنْ بِلادِ ما بَيْنَ ٱلنَّهرَيْنِ .

إلى ٱليَسارِ عَجلَةُ مَرْكَبَةٍ يونانِيَّةٍ ذاتُ بَرامِقَ .

وفي ٱلوَسَطِ عَجلَةُ دَرَّاجَةٍ حَديثَةٍ .

إلى أَسْفَلُ

يَنْدَفِعُ ٱلكِتابُ بِسُهولَةٍ أَكْثَرَ فَوْقَ أُسْطُواناتِ ٱلدُّروجِ (ٱلأَقْلامِ ٱلدّائرِيَّةِ ٱلمُحيطِ) . وذٰلِكَ لِأَنَّ ٱحْتِكاكَ ٱلدُّروجِ أَقَلُّ مِنِ ٱحْتِكاكِ ٱلانْزِلاقِ .

اَلْعَجَلَةُ (اَلدُّولابُ)

تَخَيَّلْ أَنَّكَ تَعيشُ في مَكانٍ مُوحِشٍ مُنْعَزِلٍ حَيْثُ لا قِطاراتٌ ولا سَيَّاراتٌ ولا دَرّاجاتٌ ، وأَنَّ عَلَيْكَ ٱلسَّيْرَ مَشْيًا على ٱلأَقْدامِ إلى أَيِّ مَكانٍ تَقْصِدُه ! هٰكَذا كانَتْ حالُ ٱلإِنْسانِ ٱلأَوَّلِ في ٱلعُصورِ ٱلغابِرَةِ . ومُنْذُ آلافِ ٱلسِّنينَ بَدَأَ ٱلإِنْسانُ يَسْتَقِرُّ في قُرًى على مَقْرُبَةٍ مِنَ ٱلأَنْهُرِ ، فَبَنَى ٱلأَكْواخَ وٱشْتَغَلَ بِٱلزِّراعَةِ وٱسْتَخْدَمَ ٱلحَيواناتِ في تَنَقُّلاتِهِ وحَمْلِ حَوائِجِهِ . وبِٱخْتِراعِ ٱلعَجَلَةِ خَطَتِ ٱلحَضارَةُ ٱلإِنْسانِيَّةُ خُطْوَةً جَبَّارَةً إلى ٱلأَمامِ . ولِكَيْ تَتَّضِحَ لكَ أَهَمِّيَّةُ ٱسْتِخْدامِ ٱلعَجَلاتِ ضَعْ كِتابًا ثَقيلًا على ٱلمِنْضَدَةِ وٱدْفَعْهُ فَوْقَ سَطْحِها ، ثُمَّ ضَعْ تَحْتَ ٱلكِتابِ ثَلاثَةَ أَقْلامِ رَصاصٍ مُدَوَّرَةٍ كما في ٱلشَّكْلِ ولاحِظِ ٱلسُّهولَةَ ٱلَّتي يَنْدَفِعُ بِها ٱلكِتابُ حينَما تَدْرُجُ ٱلأَقْلامُ تَحْتَهُ . **فالاِحْتِكاكُ** في حالَةِ ٱلدُّروجِ أَقَلُّ مِنْهُ في حالَةِ ٱلانْزِلاقِ ، ولَعَلَّ ٱلمِصْرِيِّينَ ٱلقُدَماءَ نَقَلُوا حِجارَةَ ٱلأَهْرامِ بِتَدْريجِها على جُذوعِ ٱلنَّخْلِ ٱلمُسْتَديرَةِ .

ولَسْنا نَعْرِفُ أَوَّلَ مَنِ ٱسْتَخْدَمَ ٱلعَجَلاتِ ، ولٰكِنَّنا نَعْلَمُ أَنَّ شُعوبَ آسْيا ٱسْتَخْدَمَتِ ٱلمَرْكَباتِ ذاتَ ٱلعَجَلاتِ حَوالَى سَنَةَ ٤٠٠٠ قَبْلَ ٱلميلادِ . وكانَتِ ٱلعَجَلَةُ قُرْصًا خَشَبِيًّا مُصْمَتًا تُشَدُّ كُلُّ ٱثْنَتَيْنِ مِنْها إلى **مِحْوَرٍ** يُثَبَّتُ في جِسْمِ ٱلعَرَبَةِ . وبَدَأَ ٱلإِنْسانُ بِجَرِّ هٰذِهِ ٱلعَرَباتِ ، ثُمَّ ٱسْتَخْدَمَ في جَرِّها ٱلثِّيرانَ وٱلخُيولَ .

وفي حَوالَى عام ١٧٥٠ ق . م ٱسْتَخْدَمَ ٱلمِصْرِيُّونَ عَجَلاتٍ ذاتَ بَرامِقَ تَمْتَدُّ مِنْ **قَبِّ** ٱلعَجَلَةِ إلى إطارِها ٱلَّذي يُلامِسُ ٱلأَرْضَ . وكانَتْ هٰذِهِ ٱلعَجَلاتُ أَخَفَّ وٱلمَرْكَباتُ ٱلمُجَهَّزَةُ بِها أَسْرَعَ . لِذا كانَتْ عَرَباتُ ٱلحَرْبِ ٱلمِصْرِيَّةُ تُرْهِبُ ٱلأَعْداءَ بِسُرْعَتِها وفَعَّالِيَّتِها . ثُمَّ

إطارٌ
برامِقُ
قَبٌّ
مِحْوَرٌ

اِسْتَخْدَمَ ٱلرُّومانُ بَرامِقَ حَديدِيَّةً لِعَجَلاتِ مَرْكَباتِهِمْ، فَزادَتْها مَتانَةً وصُمُودًا لٰكِنَّها جَعَلَتْها ثَقيلَةً جِدًّا.

عِنْدَ دَوَرانِ ٱلعَجَلَةِ حَوْلَ مِحْوَرِها ٱلثّابِتِ يَحْتَكُّ **مَحْمِلُ** ٱلعَجَلَةِ (داخِلَ ٱلقَبِّ ٱلمَرْكَزِيِّ) بِٱلمِحْوَرِ ٱلثّابِتِ. وهٰذا ٱلاِحْتِكاكُ يُقاوِمُ ٱلدَّوَرانَ ويُبْلي ٱلأَجْزاءَ ٱلمُتَماسَّةَ. وإذا دارَتِ ٱلعَجَلَةُ بِسُرْعَةٍ فإنَّ دَرَجَةَ حَرارَةِ ٱلقَبِّ وٱلمِحْوَرِ تَرْتَفِعُ كثيرًا.

ولِتَسْهيلِ ٱنْزِلاقِ ٱلقَبِّ حَوْلَ ٱلمِحْوَرِ يُشَحَّمُ أَوْ يُزَيَّتُ. وكانَ ٱلإِنْسانُ ٱلقَديمُ يَسْتَخْدِمُ دُهْنَ ٱلحَيَواناتِ لِهٰذا ٱلغَرَضِ.

وقد بَدَأَ ٱسْتِخْدامُ **مَحامِلِ ٱلكُرَيّاتِ** في ٱلقَرْنِ ٱلتّاسِعَ عَشَرَ وعَمَّ ٱسْتِعْمالُها في ٱلعَجَلاتِ ٱلحَديثَةِ. يَتَأَلَّفُ مَحْمِلُ ٱلكُرَيّاتِ مِنْ كُراتٍ فُولاذِيَّةٍ مَحْصُورَةٍ في مَدْرَجَتَيْنِ بَيْنَ ٱلقَبِّ وٱلمِحْوَرِ. وهٰكَذا تَدورُ ٱلعَجَلَةُ بِسُهولَةٍ أَكْثَرَ بِدُرُوجِ ٱلكُراتِ بَيْنَ ٱلمَدْرَجَتَيْنِ (كَما يَدْرُجُ ٱلكِتابُ عَلى ٱلأَقْلامِ) بَدَلًا مِنِ ٱنْزِلاقِ ٱلقَبِّ حَوْلَ ٱلمِحْوَرِ.

مَحْمِلُ كُرَيّاتٍ

فَوْقُ
عِنْدَما ٱخْتُرِعَ ٱلمَطّاطُ وُجِدَ أَنَّهُ أَفْضَلُ مِنَ ٱلحَديدِ لِصُنْعِ أُطُرِ ٱلعَجَلاتِ. وقَدْ صُنِعَ إطارا هٰذِهِ ٱلدَّرّاجَةِ ٱلبَدائِيَّةِ مِنَ ٱلمَطّاطِ ٱلمُصْمَتِ.

فَوْقُ إلى ٱليَمينِ
صُنِعَتِ ٱلعَجَلاتُ ٱلأُولى مِنَ ٱلخَشَبِ، ثُمَّ ٱبْتَدَأَ ٱسْتِخْدامُ ٱلإطارِ ٱلحَديدِيِّ على شَكْلِ طَوْقٍ يَشُدُّ ٱلبَرامِقَ وإطارَها ٱلخَشَبِيَّ، في ٱلقَرْنِ ٱلسّادِسَ عَشَرَ. وكانَتِ ٱلعَجَلاتُ ٱلمُؤَطَّرَةُ هٰكَذا أَخَفَّ وَزْنًا مِنَ ٱلعَجَلاتِ ٱلحَديدِيَّةِ وتُضاهيها مَتانَةً. وكانَتِ ٱلعَجَلاتُ تُصْنَعُ مُقَعَّرَةً كَٱلطَّبَقِ وتُرَكَّبُ في ٱلعَرَبَةِ كَما هُوَ ظاهِرٌ في ٱلشَّكْلِ فَيُكْسِبُها ذٰلِكَ مَتانَةً وقُوَّةً.

إلى ٱليَمينِ
إطارُ عَجَلَةِ ٱلطّائِرَةِ – نَمُوذَجٌ لِلإطارِ ٱلهَوائِيِّ (ٱلَّذي تَمَّ ٱخْتِراعُهُ عامَ ١٨٤٥). يُضَخُّ ٱلهَواءُ إلى داخِلِ ٱلإطارِ عَبْرَ صِمامٍ خاصٍّ لا يَسْمَحُ بِعَوْدَةِ ٱلهَواءِ ٱلمَضْغوطِ. وهٰذا ٱلإطارُ أَكْثَرُ ٱرْتِدادِيَّةً ومُرونَةً مِنَ ٱلإطارِ ٱلمَطّاطِيِّ ٱلمُصْمَتِ، وتَسْتَخْدِمُهُ حالِيًّا مُعْظَمُ ٱلمَرْكَباتِ ٱلحَديثَةِ. يُنْقَشُ ٱلسَّطْحُ ٱلمُحيطِيُّ (وَهُوَ مَداسُ ٱلإطارِ) بِنَمَطٍ مِنَ ٱلحُزوزِ لِمَنْعِ ٱلانْزِلاقِ عِنْدَ ٱلإقْلاعِ أَوِ ٱلحَطِّ.

إلى ٱليَمينِ
مَحْمِلُ ٱلكُرَيّاتِ يَجْعَلُ ٱلعَجَلَةَ تَدورُ حَوْلَ ٱلمِحْوَرِ بِسُهولَةٍ أَكْثَرَ.

اَلطِّباعَةُ

قَبْلَ ٱخْتِراعِ ٱلطِّباعَةِ كانَتِ ٱلكُتُبُ تُخَطُّ بِٱلْيَدِ، وكانَ النَّساخُ يَقْضي شُهورًا وأَحْيانًا سَنَواتٍ في نَقْلِ ٱلنُّسْخَةِ الواحِدَةِ.

وقَدْ تَمَّ ٱخْتِراعُ ٱلطِّباعَةِ، في أَبْسَطِ أَشْكالِها، عَلى أَيْدي ٱلصِّينِيِّينَ مُنْذُ أَكْثَرَ مِنْ أَلْفَيْ سَنَةٍ. فَقَدْ كانوا يَأْتونَ بِكُتْلَةٍ خَشَبِيَّةٍ مُسَطَّحَةٍ يَنْقُشونَ فيها بِٱلحَفْرِ حُروفًا أَوْ تَصاميمَ نافِرَةً يَطْلُونَها بِٱلحِبْرِ ثُمَّ يَضْغَطونَ فَوْقَها صَفيحَةَ ٱلوَرَقِ لِطَبْعِ ما حَفَروهُ. وكانَتْ هٰذِهِ أَيْضًا طَريقَةً بَطيئَةً وكَثيرَةَ ٱلتَّكاليفِ.

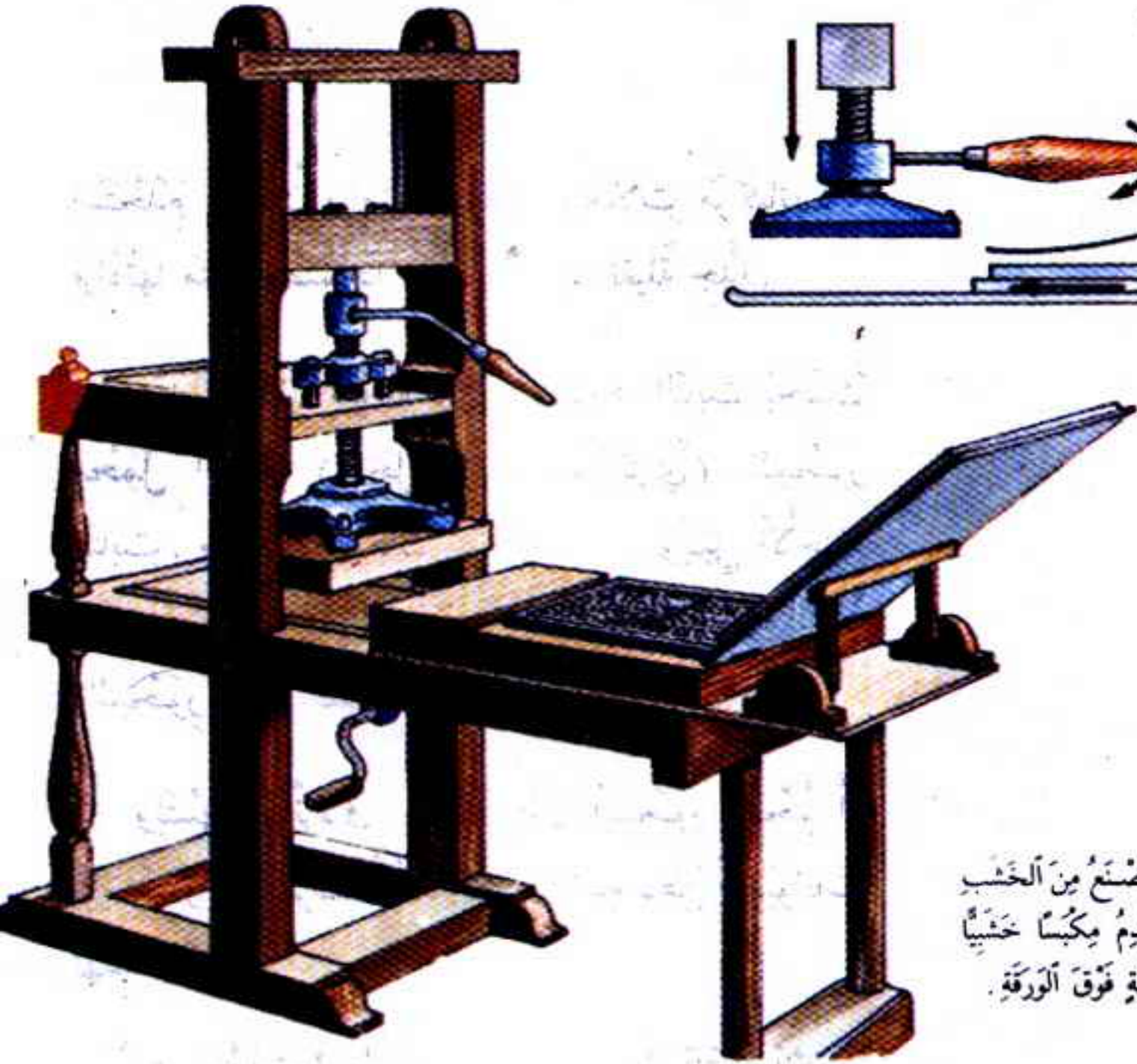
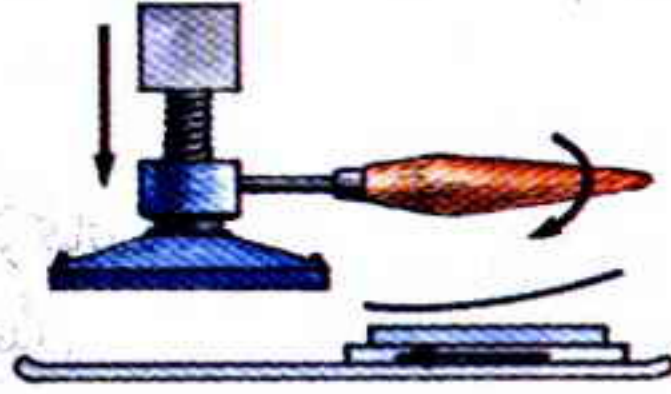
وفي ٱلقَرْنِ ٱلخامِسَ عَشَرَ ٱخْتَرَعَ ٱلطَّبّاعُ ٱلأَلْمانِيُّ يوهان غوتِنْبِرج طَريقَةً جَعَلَتْ طِباعَةَ ٱلكُتُبِ أَسْرَعَ وأَرْخَصَ. فَبَدَلًا مِنْ حَفْرِ ٱلصَّفْحَةِ ٱلكامِلَةِ على لَوْحٍ مِنَ ٱلخَشَبِ صَنَعَ **حُروفَ** طِباعَةٍ مُتَفَرِّقَةً عَلى كُتَلٍ خَشَبِيَّةٍ مُنْفَصِلَةٍ مُتَساوِيَةِ ٱلارْتِفاعِ بِحَيْثُ يُمْكِنُ ٱسْتِخْدامُها بِٱلتَّرْتيبِ ٱلمَطْلوبِ لِتَكْوينِ كَلِماتٍ وجُمَلٍ. وبَعْدَ ٱلطَّبْعِ يُعادُ تَنْضيدُ تِلْكَ ٱلحُروفِ ثانِيَةً لِتَرْكيبِ كَلِماتٍ وجُمَلٍ أُخْرى. وبَدَلًا مِنْ ضَغْطِ ٱلوَرَقِ عَلى ٱلحُروفِ ٱلمُحَبَّرَةِ بِٱلْيَدِ ٱسْتَخْدَمَ غوتِنْبِرج مِكْبَسًا آلِيًّا لِضَغْطِ ٱلصَّفيحَةِ عَلى ٱلحُروفِ. ورُغْمًا عَنْ هٰذِهِ ٱلتَّحْسيناتِ ظَلَّتْ عَمَلِيَّةُ ٱلطِّباعَةِ بَطيئَةً.

ومِنَ ٱلطَّبّاعينَ ٱلمَشْهورينَ في هٰذِهِ ٱلحِقْبَةِ لُورَنْس كُوسْتَر ٱلهولَنْدِيُّ ونِقُولا جُنسون ٱلفَرَنْسِيُّ ووِلْيَم كاكْستون ٱلإِنْكليزِيُّ ٱلَّذي تَعَلَّمَ صِناعَةَ ٱلطِّباعَةِ في كُولُون بِأَلْمانيا ثُمَّ عادَ إلى بِلادِهِ لِيُنْشِئَ لَهُ مَطْبَعَةً في وِسْتْمِنْسْتَر بِلَنْدَن.

فَوْقُ

تُنَضَّدُ حُروفُ ٱلطِّباعَةِ ٱلمُتَفَرِّقَةُ بِٱلْيَدِ لِتَكْوينِ كَلِماتٍ وجُمَلٍ، وتُجَمَّعُ في مِصَفٍّ ٱلأَسْطُرُ أَوَّلًا بِأَوَّلٍ.

إلى اليسار

اَلطَّريقَةُ ٱلصِّينِيَّةُ ٱلقَديمَةُ لِلطِّباعَةِ مِنْ كُتْلَةٍ خَشَبِيَّةٍ أَوْ حَجَرِيَّةٍ. ولا تَزالُ هٰذِهِ ٱلطَّريقَةُ تَسْتَقْطِبُ ٱهْتِمامَ ٱلهُواةِ ٱلَّذينَ يَتَلَهَّوْنَ بِٱلطِّباعَةِ عَنْ كُتَلٍ شَمْعِيَّةٍ يَحْفِرونَ عَلَيْها تَصاميمَهُمْ.

إلى اليسار

كانَتْ مَكَناتُ ٱلطِّباعَةِ ٱلأُولى تُصْنَعُ مِنَ ٱلخَشَبِ ٱلمَتينِ. وكانَ ٱلطّابِعُ يَسْتَخْدِمُ مِكْبَسًا خَشَبِيًّا لَوْلَبِيًّا لِضَغْطِ لَوْحَةٍ خَشَبِيَّةٍ ثَقيلَةٍ فَوْقَ ٱلوَرَقَةِ.

إلى اليسار

وِلْيَم كاكْستُون ١٤٢٢ – ١٤٩١ أَحَدُ رُوّادِ ٱلطِّباعَةِ في إنكلترا. طَبَعَ كِتابَهُ ٱلأَوَّلَ عامَ ١٤٧٥، وتَرْجَمَ كَثيرًا مِنَ ٱلكُتُبِ إلى ٱلإنكليزِيَّةِ وطَبَعَها. وقَدْ بَلَغَ ما طَبَعَه مِنَ ٱلكُتُبِ حَوالى ١٠٠ كِتابٍ مِنْها كِتابٌ عَنِ ٱلشِّطْرَنْجِ.

كاكْستون

إلى ٱليَمينِ

اِخْتُرِعَتْ مَكَنَةُ ٱلطِّباعَةِ ٱلسَّطْرِيَّةِ (اللِّينوتَيْب) في أميركا في أَواخِرِ ٱلقَرْنِ ٱلتّاسِعَ عَشَرَ عَلى يَدِ طَبّاعٍ أَلْمانِيٍّ ٱسْمُهُ أُوتْمار مِرغَنْثالِر. وكانَ ذٰلِكَ أَحَدَ أَهَمِّ ٱلاخْتِراعاتِ في عالَمِ ٱلطِّباعَةِ مُنْذُ ٱخْتَرَعَ غُوتِنبرج ٱلحُروفَ ٱلمُتَفَرِّقَةَ. وهٰذِهِ ٱلمَكَنَةُ تُيَسِّرُ عَمَلَ ٱلطّابِعِ وتُسَرِّعُه إذْ إنَّ مُعْظَمَ عَمَلِيّاتِ ٱلتَّشْغيلِ فيها تَجْري أُوتوماتِيًّا.

مَكَنَةُ مِلَفِّيَّةُ ٱلتَّغْذِيَةِ لِلطِّباعَةِ ٱلحَجَرِيَّةِ بِٱلأُوفسِت

وفي ٱلخَمسمِائةِ مِنَ ٱلسِّنينَ ٱلَّتي تَلَتِ ٱسْتِخْدامَ غُوتِنْبِرج لِلْحُروفِ ٱلمُنْفَصِلَةِ ٱلقِطَعِ حَصَلَتْ تَحْسيناتٌ كَثيرَةٌ في سُرْعَةِ ٱلطِّباعَةِ ونَوعِيَّتِها. فَٱلحُروفُ أَصْبَحَتْ لا تُنَضَّدُ بِٱليَدِ (إلّا في حالاتٍ خاصَّةٍ) بَلْ بِمَكَناتِ تَنْضيدٍ كَبيرَةٍ ذاتِ لَوْحاتِ مَفاتيحَ كَما في ٱلآلَةِ ٱلكاتِبَةِ. وهٰذِهِ ٱلمَكَناتُ تُنَضِّدُ ٱلحُروفَ آلِيًّا في أَسْطُرٍ أَوْ عَلى أَفْلامٍ تُحَضَّرُ مِنْها **رَواسِمُ** (كليشيهاتُ) ٱلطِّباعَةِ إمّا بِصَوْغِها قَوالِبَ أَوْ فُوتُوغْرافِيًّا.

وتُسْتَخْدَمُ ٱلرَّواسِمُ في مَكَناتِ ٱلطِّباعَةِ ٱلضَّخْمَةِ ٱلَّتي تُدارُ بِٱلطَّاقَةِ ٱلكَهْرَبائِيَّةِ. وبِإمْكانِ هٰذِهِ ٱلمَكَناتِ طَبْعُ آلافِ ٱلصَّفائِحِ أَوِ ٱلجَرائِدِ في ٱلسّاعَةِ ٱلواحِدَةِ.

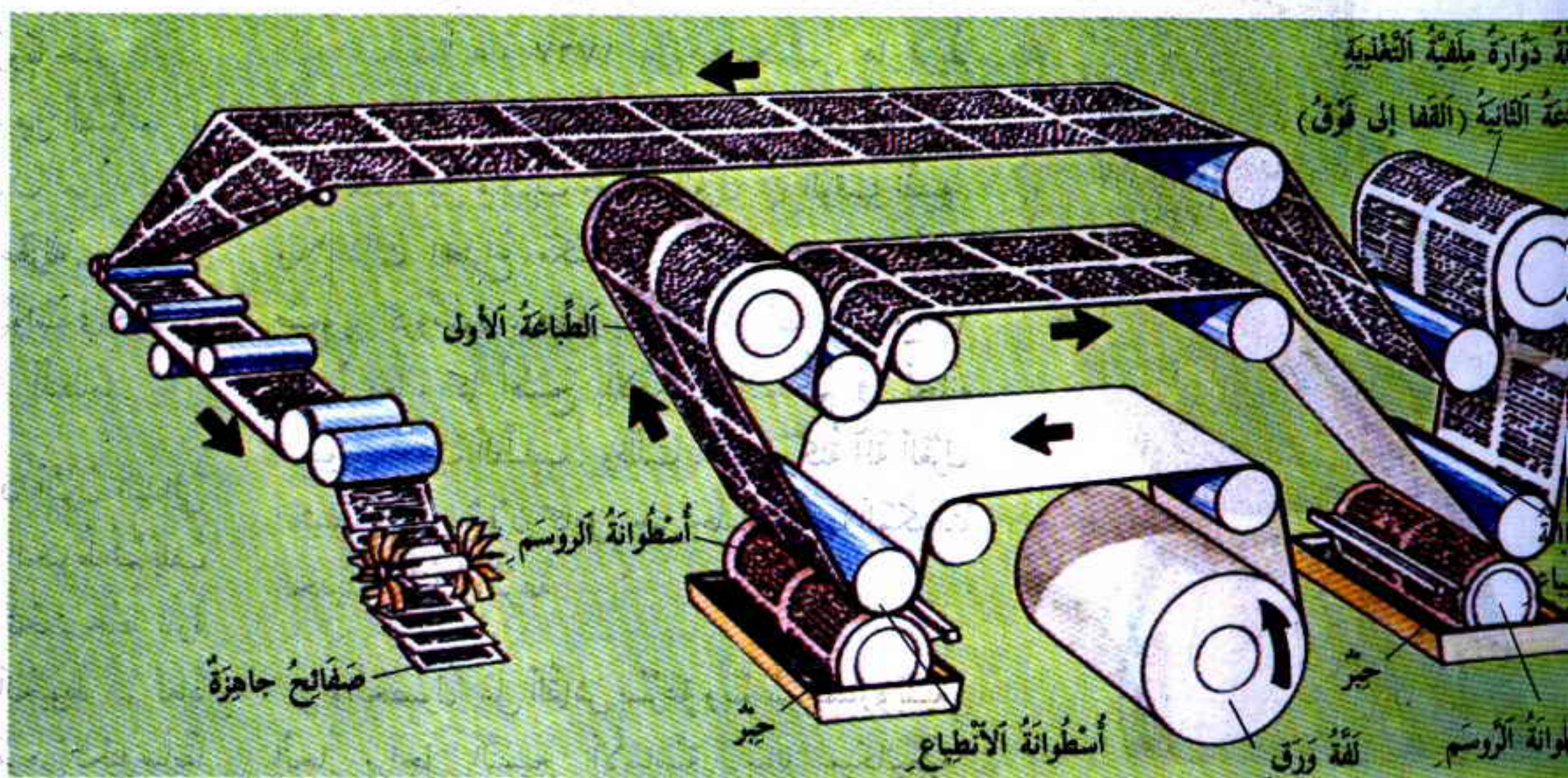
هُنالِكَ ثَلاثُ طُرُقِ طِباعَةٍ رَئيسِيَّةٍ هِيَ ٱلطِّباعَةُ **ٱلحَرْفِيَّةُ** (عَنْ حُروفٍ مُنَضَّدَةٍ أَوْ قَوالِبَ مُعَدَّةٍ مِنْها) وٱلطِّباعَةُ **ٱلحَجَرِيَّةُ ٱلضَّوْئِيَّةُ** (بِصَفائِحَ مُعَدَّةٍ فُوتُوغْرافِيًّا عَنْ أَلْواحٍ حَجَرِيَّةٍ) وٱلطِّباعَةُ **ٱلرَّوْسَمِيَّةُ** (ٱلَّتي تَسْتَخْدِمُ صَفائِحَ أَوْ كليشيهاتٍ مَحْفورَةً كيماوِيًّا).

وهُنالِكَ نَوْعانِ رَئيسِيّانِ مِنْ مَكَناتِ ٱلطِّباعَةِ أَحَدُهُما **صَفيحِيُّ ٱلتَّغْذِيَةِ** وٱلآخَرُ **مِلَفِّيُّ ٱلتَّغْذِيَةِ**. فَفي ٱلنَّوْعِ ٱلأَوَّلِ تُغَذّى ٱلمَكَنَةُ أوتوماتِيًّا بِصَفَحاتِ ٱلوَرَقِ لِتُطْبَعَ كُلٌّ مِنْها بِمُفْرَدِها. أَمّا في ٱلنَّوعِ ٱلثّاني فَتُغَذّى ٱلمَكَنَةُ بِلَفَّةٍ ضَخْمَةٍ مُتَّصِلَةٍ مِنْ وَرَقِ ٱلطِّباعَةِ. ويُمْكِنُ ٱسْتِخْدامُ كِلا ٱلنَّوْعَيْنِ لِلطَّبْعِ عَلى وَجْهٍ واحِدٍ مِنَ ٱلوَرَقِ أَوْ عَلى وَجْهَيْنِ، وبِأَلْوانٍ قَدْ تَصِلُ إلى أَرْبَعَةِ أَلْوانٍ. وفي حالِ ٱلأَلْوانِ يُمَرَّرُ ٱلوَرَقُ عَلى مَجْموعَةٍ مُنْفَصِلَةٍ مِنَ ٱلرَّواسِمِ لِكُلِّ لَوْنٍ. وتُجَهَّزُ بَعْضُ مَكَناتِ ٱلطِّباعَةِ بِآلاتٍ إضافِيَّةٍ لِقَصِّ ٱلصَّفائِحِ وطَيِّها صَفَحاتٍ.

فَوْقُ

مَكَنَةُ طِباعَةٍ بِٱلأُوفسِت، تَطْبَعُ عَلى وَجْهَيِ ٱلوَرَقِ (ٱلمُغَذّى مِنَ ٱللَّفَّةِ) في ٱلوَقْتِ نَفْسِهِ. تُرَطَّبُ أُسْطُوانَةُ ٱلرَّوسَمِ ثُمَّ تُحَبَّرُ مِنْ أُسْطُواناتِ ٱلتَّحْبيرِ. ويَنْتَقِلُ ٱلانْطِباعُ إلى أُسْطُوانَةِ ٱلدِّثارِ ومِنْها إلى ٱلوَرَقِ.

إلى ٱليَمينِ

طابِعَةٌ دَوّارَةٌ حَديثَةٌ تَسْتَخْدِمُ لَفَّةً مُتَّصِلَةً مِنَ ٱلوَرَقِ بَدَلًا مِنْ صَحائِفَ مُنْفَصِلَةٍ. هٰذِهِ ٱلطّابِعَةُ تَقْطَعُ ٱلصَّفَحاتِ وتَطْويها أُوتُوماتِيًّا، وَهِيَ تُسْتَخْدَمُ كَثيرًا في طَبْعِ ٱلجَرائِدِ وٱلكُتُبِ نَظَرًا لِسُرْعَتِها ٱلفائِقَةِ.

إلى اليسار

دولابُ الغزْلِ. تُهيَّأُ أطرافُ الخيوطِ وتُثبَّتُ في المِكبّاتِ (البكَراتِ) باليَدِ، ثُمَّ يُدارُ مِقْبَضُ الدولابِ فتُلَفُّ الخيوطُ على المِكبّاتِ. وكانَتِ الخيوطُ النّاتِجَةُ خَشِنَةً نوعًا.

إلى أسْفَلُ

صَمويل كرومبْتون ١٧٥٣ – ١٨٢٧ طوَّرَ دولابَ الغزْلِ إلى مَكَنَةٍ تغْزِلُ كُلَّ أنْواعِ الخيوطِ رَفيعِها وثَخينِها وتتَّسِعُ لِألْفِ مِكَبٍّ مَعًا، فأحْدَثَ ثَوْرَةً في عالَمِ صِناعَةِ النَّسيجِ.

كرومبتون

إلى اليَسار

شكْلٌ يُبيِّنُ أجْزاءَ النَّوْلِ اليَدَويِّ البَسيطِ. تُلَفُّ خيوطُ السَّدى المُنْتَظِمَةُ المُتَباعِدَةُ على ذِراعِ الأسْداءِ ويُلَفُّ القُماشُ على ذِراعِ القُماشِ. وتُشغَّلُ الدَّوّاسَةُ أو الدَّوّاسَتانِ بالقَدَمِ لِتَفْسيحِ الأسْداءِ على التَّعاقُبِ. وعِنْدَ سَحْبِ الخيْطِ يَدورُ مِكَبُّ الخيوطِ داخِلَ المَكّوكِ دونَ صُعوبَةٍ تُذْكَرُ.

أقْصى اليَسار

نَوْلٌ عَصْريٌّ. بِاسْتِطاعَةِ هٰذا النَّوْلِ نَسْجُ تَصاميمَ ونُقوشٍ مُعَقَّدَةٍ نوعًا واسْتِخْدامُ خيوطٍ مُتفاوِتَةِ الثَّخانَةِ والألْوانِ في نَسْجِها بِسُرْعَةِ ٦٠ إلى ٩٠ مِتْرًا مِنَ القُماشِ أُسْبوعِيًّا.

إلى أسْفَلُ

نَوْلٌ بِدائيٌّ اسْتُخْدِمَ في البيرو قبلَ القرْنِ الخامِسَ عَشَرَ.

القُماشُ

كانَتْ صِناعَتا الغَزْلِ والنَّسيجِ بَيْنَ أقْدَمِ الصِّناعاتِ الَّتي عَرَفَها الإنْسانُ. وهُناكَ أنْواعٌ كَثيرَةٌ مِنَ الأنْسِجَةِ المَحوكَةِ أوِ المَحْبوكَةِ كالحُصُرِ والسِّلالِ وشَبَكِ التَّسْييجِ، لٰكِنَّ أهَمَّها طَبْعًا هُوَ القُماشُ.

ولِكَيْ يُصبِحَ بالإمْكانِ نَسْجُ القُماشِ يَنْبَغي غَزْلُ الخيطانِ مِنْ صوفِ الحَيَوانِ أوْ ألْيافِ النَّباتِ أوْ مِنْ مَوادَّ أُخْرى. وقَدِ اسْتَخْدَمَ الإنْسانُ القُطْنَ والصّوفَ والكتّانَ لِهٰذا الغَرَضِ مُنْذُ حَوالى سَنَةِ ٢٥٠٠ ق. م، ويعودُ تاريخُ أقْدَمِ قِطْعَةِ قُماشٍ عُثِرَ عَلَيْها إلى حَوالى عامِ ٤٥٠٠ ق. م.

ظَلَّتْ عَمَلِيَّةُ الغَزْلِ تَتِمُّ يَدَوِيًّا في أوروبّا حَتّى القَرْنِ الرّابِعَ عَشَرَ. فكانَ الغَزّالُ يَتَناوَلُ كَمْشَةً مِنَ الصّوفِ أوِ القُطْنِ الخامِ فَيُراكِبُ العَدَدَ المُناسِبَ مِنْ أليافِها ويَبْرُمُها لِلحُصولِ على خَيْطٍ يَلُفُّهُ على **مِغْزَلِهِ**. وصارَتِ العَمَلِيَّةُ أسْرَعَ عِنْدَما صارَ المِغْزَلُ يُدارُ بالدَّوّاسَةِ في **دولابِ الغَزْلِ** كَما أصْبَحَتْ ثَخانَةُ الخيوطِ أكْثَرَ انْتِظامًا.

وتُنْسَجُ الخيطانُ قُماشًا بالنَّوْلِ. وكانَ النَّوْلُ البِدائيُّ يَتَألَّفُ مِن قَضيبَيْنِ خَشَبِيَّيْنِ تُشَدُّ عَلَيْها الخيوطُ ثُمَّ يُلَفُّ خَيْطٌ طَويلٌ جدًّا على **مَكّوكٍ** ويُمَرَّرُ باليَدِ تَحْتَ خَيْطٍ تارةً وفَوْقَ الخَيْطِ التّالي أُخْرى حَتّى آخِرِ الخيوطِ ثُمَّ تُعادُ الكَرَّةُ فيُمَرَّرُ المَكّوكُ فَوْقَ الخيطِ الَّذي مَرَّ مِن تَحْتِهِ سابِقًا وتَحْتَ الخَيْطِ التّالي الَّذي مَرَّ مِنْ فَوْقِهِ قَبْلًا، وهٰكَذا تَتَحابَكُ خيوطُ المِغْزَلِ الَّتي تُؤَلِّفُ **لُحْمَةَ** النَّسيجِ مُتَعامِدَةً مَعَ الخيوطِ الثّابِتَةِ الَّتي تُؤَلِّفُ **سَداةَ** النَّسيجِ.

وصارَتْ عَمَلِيَّةُ النَّسيجِ أسْرَعَ كَثيرًا عِنْدَما صارَ بالإمْكانِ رَفْعُ الخُيوطِ المُتَناوِبَةِ دَفْعَةً واحِدَةً لِيَسيرَ المَكّوكُ في الفُسْحَةِ ذَهابًا وإيابًا عَبْرَ مَجْموعَتَيِ الخُيوطِ المُتَعاقِبَتَيِ الرَّفْعِ. وبالتَّدْريجِ أخَذَتِ الأنْوالُ تَزْدادُ تَعْقيدًا وصارَ مِنَ السَّهْلِ نَسْجُ القُماشِ بِنَماذِجَ ونُقوشٍ مُتَنَوِّعَةٍ.

وفي عامِ ١٧٣٣ اخْتَرَعَ جون كاي المَكّوكَ الأوتوماتيَّ وصارَ النَّسّاجُ يَشُدُّ حِبالَهُ فيَتَحَرَّكُ المَكّوكُ بِسُرْعَةٍ عَبْرَ النَّوْلِ. وإزاءَ هٰذِهِ السُّرْعَةِ عَجَزَ الغَزّالونَ عَنْ تَزْويدِ النَّسّاجينَ بِحاجَتِهِمْ مِنْ خُيوطِ الغَزْلِ. وقَدْ حُلَّتْ هٰذِهِ المُشْكِلَةُ عامَ ١٧٦٧ على يَدِ جيمْس هارغريفز مُخْتَرِعِ **دولابِ الغَزْلِ** الَّذي يُمْكِنُ بواسِطَتِهِ الحُصولُ على العَديدِ مِنْ مِكَبّاتِ خُيوطِ الغَزْلِ في الوَقْتِ نَفْسِهِ. وتَلا ذٰلِكَ اخْتِراعُ مَكَنَةِ الغَزْلِ عامَ ١٧٧٩ بِجُهودِ صَمويل كرومبْتون، فصارَ يُمْكِنُ بواسِطَتِها غَزْلُ ١٠٠٠ مِكَبٍّ مَعًا، كَما أصْبَحَ بالإمْكانِ التَّحَكُّمُ في ثَخانَةِ الخُيوطِ حَسَبَ الطَّلَبِ. وظَلَّتْ هٰذِهِ المَكَنَةُ آلَةَ الغَزْلِ الرَّئيسِيَّةَ أكْثَرَ مِن قَرْنٍ كامِلٍ حينَ حَلَّتْ مَكانَها المَكَناتُ الحَديثَةُ الأكْثَرُ سُرْعَةً.

ولِلْحُصولِ على القُماشِ بِسُرْعَةٍ وبِنَوْعِيَّةٍ مُمْتازَةٍ يَنْبَغي إنْجازُ مَراحِلِ النَّسيجِ الأساسِيَّةِ بِوَسائِلَ ميكانيكِيَّةٍ.

إحدى مَجْموعَتَيِ ٱلمَكُّوكِ في جانِبَيِ ٱلنَّوْلِ. يُمْكِنُ ٱسْتِخْدامُ ٤ أَلْوانٍ مِنْ خُيوطِ ٱلأَسْداءِ، وبٱلإمْكانِ ٱلتَّحَكُّمُ في ثَخانَةِ ٱلخُيوطِ

ٱلعِفْرِيتَةُ: تَتَحَكَّمُ في ٱخْتِيارِ ٱلجِذْعِ ٱلمُناسِبِ لِلتَّفْسيحِ ٱلخِلالِيِّ

أَرْبَعَةُ أَعْمِدَةِ تَدْويرٍ (جُذوعُ ٱلحَرَكَةِ)

عارِضَةُ لِزازَةٍ (لَزُّ ٱللُّحْمَةِ وتَضْبيطُها)

جِذْعُ ٱلحَرَكَةِ ٱلأَوَّلُ

جِذْعُ ٱلحَرَكَةِ ٱلثّاني

مِشْطُ ٱلغَزْلِ (تَمُرُّ عَبْرَهُ خُيوطُ ٱللُّحْمَةِ)

ٱلسَّداةُ

فُسْحَةٌ خِلالِيَّةٌ

مَكُّوكٌ ذو مَكَبٍّ

فِراغُ لَفِّ ٱلقُماشِ

ٱلدَّوّاسَةُ ٱلأُولى

ٱلدَّوّاسَةُ ٱلثّانِيَةُ

مَكُّوكٌ

خَيْطُ ٱلكُفَّةِ

نَوْلٌ بَسيطٌ

خَيْطٌ مَبْرومٌ مِنْ طاقَيْنِ (٤٠ لِكُلِّ إطارٍ)

إطارٌ مِنَ ٱلسِّلْكِ ٱلمَثْنِيِّ (اِثْنانِ)

خَيْطُ ٱلسَّداةِ. مَرِّرِ ٱلخَيْطَ عَبْرَ لِيَّةٍ في وَسَطِ ٱلخَيْطِ ٱلمَبْرومِ، وٱرْبُطْ طَرَفَيِ ٱلخَيْطِ جَيِّدًا في حافَّتَيِ ٱلنَّوْلِ.

ثَبِّتْ أَجْزاءَ ٱلإطارِ ٱلخَشَبِيِّ بٱلغِراءِ أَوْ بٱلمَساميرِ

خُيوطُ ٱلتَّناوُبِ تَرْفَعُها لِيّاتُ ٱلخُيوطِ عَلى ٱلإطارِ ٱلسِّلْكِيِّ

٥٠ سم

٢٥ سم

٨ سم

إلى ٱليَمينِ

طَريقَةٌ لِصُنْعِ نَوْلٍ بَسيطٍ. (أ) أَعِدَّ ٱلإطارَ ٱلخَشَبِيَّ وٱلإطارَيْنِ ٱلسِّلْكِيَّيْنِ كَما هُوَ مُبَيَّنٌ. (ب) مَرِّرِ ٱلخُيوطَ ٱلحَمْراءَ عَبْرَ ٱللِّيّاتِ ٱلوُسْطى لِلْخُيوطِ ٱلمَبْرومَةِ في ٱلإطارِ ٱلسِّلْكِيِّ ٱلأَوَّلِ، ومَرِّرِ ٱلخُيوطَ ٱلزَّرْقاءَ عَبْرَ لِيّاتِ ٱلخُيوطِ في ٱلإطارِ ٱلسِّلْكِيِّ ٱلثّاني. ويَجِبُ نَظْمُها بَيْنَ ٱلخُيوطِ ٱلحَمْراءِ عَلى ٱلتَّعاقُبِ. كَما يَنْبَغي شَدُّ ٱلخُيوطِ كُلِّها جَيِّدًا إلى حافَّتَيِ ٱلنَّوْلِ. (جـ) لُفَّ خَيْطًا أَخْضَرَ طَويلًا عَلى قِطْعَةٍ مِنَ ٱلوَرَقِ ٱلمُقَوّى لِتَحْصُلَ عَلى مَكُّوكٍ ذي مَكَبٍّ. اِرْفَعِ ٱلإطارَ ٱلسِّلْكِيَّ ٱلأَوَّلَ ومَرِّرِ ٱلمَكُّوكَ تَحْتَ ٱلخُيوطِ ٱلحَمْراءِ. ثُمَّ ٱرْفَعِ ٱلإطارَ ٱلسِّلْكِيَّ ٱلثّانِيَ وأَرْجِعِ ٱلمَكُّوكَ مِنْ تَحْتِ ٱلخُيوطِ ٱلزَّرْقاءِ وهٰكَذا. اِسْتَخْدِمْ إبْرَةَ حِياكَةٍ لِلَزِّ ٱلخُيوطِ ٱلخَضْراءِ وضَبْطِ ٱسْتِوائِها.

مَنْظَرُ ٱلنَّوْلِ مِنْ فَوْقُ

إطارانِ لِرَفْعِ خُيوطِ ٱلسَّدى عَلى ٱلتَّناوُبِ

خُيوطُ ٱلتَّناوُبِ تَرْفَعُها لِيّاتُ ٱلخُيوطِ عَلى ٱلإطارِ ٱلآخَرِ

هُناكَ بِضْعَةٌ مِنْ خُيوطِ ٱلسَّدى فَقَطْ ظاهِرَةٌ في ٱلشَّكْلِ، وٱلمَفْروضُ أَنَّ حَوالى ٤٠ خَيْطًا مِنْها مُسَلَّكَةٌ في كُلِّ إطارٍ سِلْكِيٍّ (حَوالى ٨٠ خَيْطَ سَدًى في مَجْموعِها)

مَكُّوكٌ

خَيْطُ ٱللُّحْمَةِ

اِسْتَخْدِمِ ٱلإطارَ ٱلسِّلْكِيَّ (وَهُوَ غَيْرُ ظاهِرٍ في ٱلشَّكْلِ) لِرَفْعِ مَجْموعَةِ خُيوطِ ٱلسَّدى ٱلمُتَناوِبَةِ

مَرِّرِ ٱلمَكُّوكَ عَبْرَ ٱلنَّوْلِ بَيْنَ مَجْموعَتَيْ خُيوطِ ٱلسَّدى ذَهابًا وإيابًا

نَموذَجُ نَسْجٍ (مُتَباعِدٌ لِلتَّوْضيحِ). لُزَّ خُيوطَ ٱللُّحْمَةِ وٱضْبِطِ ٱسْتِقامَتَها

وتَتَلَخَّصُ هٰذِهِ ٱلمَراحِلُ في أَرْبَعِ عَمَلِيّاتٍ: تَرْتيبُ خُيوطِ ٱلسَّدى بِحَيْثُ تَبْقى مَشْدودَةً ومُتَساوِيَةَ ٱلتَّباعُدِ (ٱلتَّسْدِيَةِ)؛ رَفْعُ خُيوطِ ٱلسَّدى ٱلمُتَناوِبَةِ ٱلمُرادِ إمْرارُ ٱلمَكُّوكِ عَبْرَها (تَفْسيحُ ٱلأَسْداءِ)؛ إمْرارُ ٱلمَكُّوكِ عَبْرَ ٱلفُسْحَةِ ٱلحاصِلَةِ (ٱلتَّخْليلُ)؛ ثُمَّ جَعْلُ خُيوطِ ٱللُّحْمَةِ أُفُقِيَّةً تامًّا ومُتَساوِيَةَ ٱلتَّباعُدِ (ٱللَّزُّ وٱلتَّضْبيطُ).

وكانَ مَكُّوكُ كاي خُطْوَةً نَحْوَ ٱلأَتْمَتَةِ تَلَتْها تَدْريجِيًّا خُطُواتٌ جَعَلَتِ ٱلأَنْوالَ ٱلميكانيكِيَّةَ تَحْتَلُّ مَكانَ ٱلأَنْوالِ ٱليَدَوِيَّةِ. وكانَ أَوَّلُ نَوْلٍ ميكانيكِيٍّ مِنْ صُنْعِ إدْمون كارْترايت عامَ ١٧٨٥، وقَدْ تَوالَتْ عَلَيْهِ مُنْذُئِذٍ تَطَوُّراتٌ مُتَعَدِّدَةٌ.

قُطْنٌ

صُوفٌ

كَتّانٌ

إلى ٱليَسار

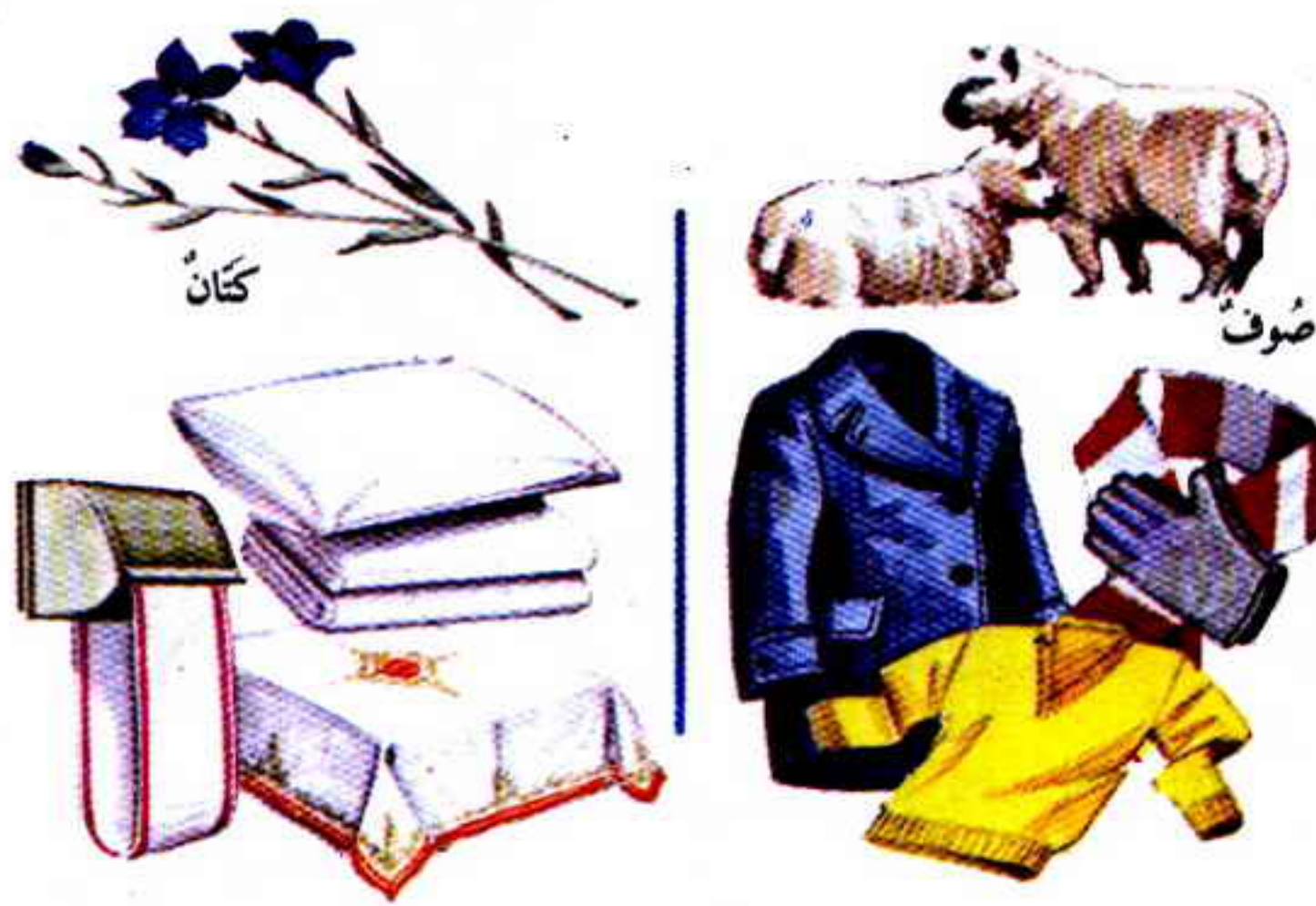
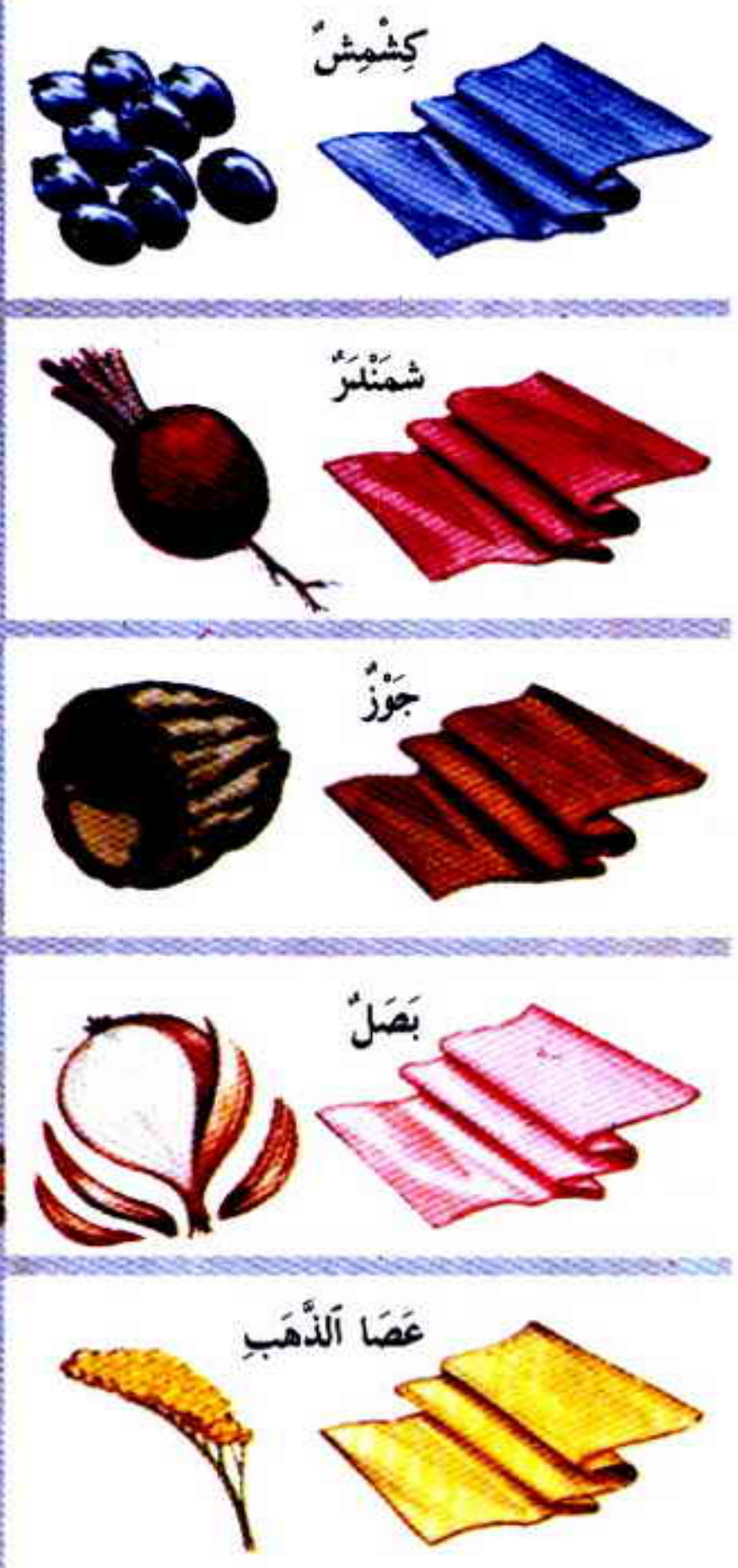
ٱلقُطْنُ نَسيجٌ ناعِمٌ قَوِيُّ ٱلأَلْيافِ ذُو ٱسْتِخْداماتٍ شَتّى. ويُمْكِنُ مُعالَجَتُهُ بِٱلكيماوِيّاتِ لِمُقاوَمَةِ ٱلتَّبَقُّعِ. ويُعْتَبَرُ ٱلصُّوفُ أَفْضَلَ ٱلأَلْيافِ ٱلطَّبيعِيَّةِ، فَيُمْكِنُ نَسْجُهُ رَقيقًا أَوْ ثَخينًا حَسَبَ ٱلحاجَةِ.

وٱلكَتّانُ مَتينُ ٱلأَلْيافِ قَوِيُّ ٱلاَحْتِمالِ ويَدُومُ طَويلًا.

أَقْصى ٱليَسارِ

ٱلحَريرُ أَثْمَنُ ٱلمَنْسوجاتِ وأَفْخَمُها بِمَلْمَسِهِ ٱلنّاعِمِ وبَريقِهِ ٱلفَريدِ. ويُمْكِنُ صَبْغُهُ بِشَتّى ٱلأَلْوانِ ٱلأَنيقَةِ ٱلزّاهِيَةِ. تُرَبّى دُودَةُ ٱلقَزِّ في بُلْدانِ ٱلشَّرْقِ غالِبًا، وقَدْ أَنْشَأَتْ بَعْضُ ٱلبُلْدانِ ٱلعَرَبِيَّةِ مَكاتِبَ حَريرٍ خاصَّةً لِتَشْجيعِ هٰذِهِ ٱلصِّناعَةِ.

أَنْسِجَةُ ٱلمَلابِسِ

تُصْنَعُ أَنْسِجَةُ ٱلمَلابِسِ حالِيًّا مِنْ خُيُوطٍ (أَوْ أَلْيافٍ) تُنْسَجُ قُماشًا. وكانَتِ ٱلنَّباتاتُ وٱلحَيَواناتُ حَتّى عامِ ١٨٩١ ٱلمَصْدَرَ ٱلوَحيدَ لِهٰذِهِ ٱلأَلْيافِ. فَأَلْيافُ **ٱلقُطْنِ** مَصْدَرُها جَوْزاتُ ٱلقُطْنِ ٱلزَّغِبَةُ ٱلَّتي تَضُمُّ ٱلبُزورَ وتَنْمو شَجَرَتُهُ في ٱلمَناطِقِ ٱلحارَّةِ كَمِصْرَ. وتُسْتَخْرَجُ أَلْيافُ **ٱلكَتّانِ** مِنْ سُوقِ نَباتِ ٱلكَتّانِ ٱلَّتي يَجودُ نُمُوُّها في ٱلمَناطِقِ ٱلرَّطْبَةِ كَروسِيا. وتُجَزُّ ٱلماعِزُ وٱلغَنَمُ لِلْحُصولِ عَلى **ٱلصُّوفِ**. أَمّا ٱلحَريرُ فَتُفْرِزُهُ دُودَةُ ٱلقَزِّ لِتَصْنَعَ مِنْهُ شَرْنَقَةً (أَوْ صُلَّجَةً) تَتَحَوَّلُ داخِلَها إلى فَراشَةٍ. وتُحَلُّ ٱلشَّرانِقُ بَعْدَ نَقْعِها في ٱلماءِ لِلْحُصولِ عَلى خُيوطِ ٱلحَريرِ. وكُلُّ هٰذِهِ ٱلمَوادِّ صالِحٌ لِلْغَزْلِ وٱلنَّسْجِ وٱلصِّباغِ.

وبِٱلإِضافَةِ إلى هٰذِهِ ٱلأَلْيافِ ٱلطَّبيعِيَّةِ أَصْبَحَ لَدَيْنا ٱليَوْمَ أَلْيافٌ صِناعِيَّةٌ **كَٱلرّايُون** ٱلَّذي يُحَضَّرُ مِنْ عَجينَةِ ٱلخَشَبِ ٱلمُضَرَّبَةِ بِٱلماءِ وٱلمَمْزوجَةِ **بِٱلصُّودا ٱلكاوِيَةِ وثاني كِبْرِيتيدِ ٱلكَرْبون** لإِذابَةِ ٱلسِّلّيولوزِ فيها. ثُمَّ يُدْفَعُ ٱلسّائِلُ ٱللَّزِجُ ٱلحاصِلُ ٱلمُسَمّى **ٱلفِسْكُوز** عَبْرَ مِنْفَثٍ مُثَقَّبٍ إلى مِغْطَسٍ حامِضِيٍّ حَيْثُ تَتَصَلَّبُ خُيُوطُ ٱلفِسْكُوز ويُمْكِنُ لَفُّها عَلى مِكَبّاتٍ.

وهُنالِكَ عَدَدٌ وافِرٌ مِنَ ٱلأَلْيافِ ٱلاَصْطِناعِيَّةِ ٱلمُخْتَلِفَةِ نَذْكُرُ مِنْها ٱلتِّرِيلين وٱلأَكْريلان وٱلنّايْلون ٱلَّتي تُحَضَّرُ مِنْ كيماوِيّاتٍ نَحْصُلُ عَلَيْها مِنْ زَيْتِ ٱلبِتْرولِ وٱلفَحْمِ. ويُعْزَى ٱلفَضْلُ في تَحْضيرِ ٱلنّايْلون أَوَّلَ مَرَّةٍ لِلْكيماوِيِّ ٱلأَميرِكِيِّ والاس كاروثَرْز.

وٱلمَعْروفُ أَنَّ ٱلأَلْيافَ ٱلطَّبيعِيَّةَ سَهْلَةُ ٱلاَصْطِباغِ، فَهِيَ تَمْتَصُّ ٱلماءَ كَوَرَقَةِ ٱلنَّشّافِ ويَتِمُّ صَبْغُها بِمَزْجِ ٱلصِّبْغِ بِٱلماءِ ونَقْعِ ٱلأَلْيافِ فيهِ خُيُوطًا أَوْ نَسيجًا. وأَحْيانًا يُبْسَطُ ٱلنَّسيجُ وتُطْبَعُ عَلَيْهِ ٱلتَّصاميمُ أَوِ ٱلنُّقوشُ ٱلمُلَوَّنَةُ. أَمّا ٱلأَلْيافُ ٱلاَصْطِناعِيَّةُ فَلا تَصْطَبِغُ بِسُهولَةٍ، وذٰلِكَ بِتَأْثيرِ سَطْحِها ٱلبلاسْتيكِيِّ ٱلزَّلِقِ. لِذٰلِكَ فَإِنَّها تُصْبَغُ عادَةً في أَثْناءِ عَمَلِيَّةِ تَصْنيعِها خُيُوطًا.

وكانَتِ ٱلأَنْسِجَةُ تُخاطُ فيما مَضى بِٱليَدِ لِصُنْعِ ٱلمَلابِسِ. وفي عامِ ١٨٣٢ ٱخْتَرَعَ ٱلأَميرِكِيُّ وُلْتَر هَنْت أَوَّلَ مَكَنَةِ خِياطَةٍ ثُمَّ تَلاهُ إِسْحق سِنْجَر فَصَنَعَ نَوْعًا آخَرَ مُطَوَّرًا مِنْ مَكَناتِ ٱلخِياطَةِ عامَ ١٨٥١.

تَعْمَلُ مَكَنَةُ ٱلخِياطَةِ بِخَيْطَيْنِ، أَحَدُهُما في مِكَبٍّ داخِلَ ٱلمَكَنَةِ، وٱلآخَرُ مِنْ بَكَرَةٍ في أَعْلاها. ويُسْلَكُ خَيْطُ ٱلبَكَرَةِ ٱلعُلْوِيَّةِ عَبْرَ ذِراعٍ مُتَحَرِّكٍ إلى سَمِّ إِبْرَةِ ٱلمَكَنَةِ قُرْبَ طَرَفِها ٱلمُسْتَدِقِّ. ويُحَرِّكُ ٱلقُماشُ تَحْتَ

إلى أَسْفَلُ

يُمْكِنُكَ تَحْضيرُ عِدَّةِ أَنْواعٍ مِنَ ٱلأَصْباغِ ٱلطَّبيعِيَّةِ مِنْ مَوادَّ نَباتِيَّةٍ. خُذْ بِضْعَ حَبّاتٍ مِنَ ٱلكِشْمِشِ (ٱلعِنَبِيِّ) وٱنْقَعْها لَيْلَةً في ٱلماءِ ثُمَّ ٱغْلِها مُدَّةَ ساعَةٍ مِنَ ٱلزَّمَنِ. صَفِّ ٱلسّائِلَ ٱلعُصارِيَّ وٱغْمِسْ فيهِ قِطْعَةً مِنَ ٱلقُماشِ ٱلأَبْيَضِ. اِغْلِ ٱلوِعاءَ بِرِفْقٍ حَتّى يَكْتَسِبَ ٱلقُماشُ لَوْنًا غامِقًا، مَعَ مُلاحَظَةِ أَنَّ ٱللَّوْنَ سَيُصْبِحُ فاتِحًا نَوْعًا عِنْدَما يَجِفُّ ٱلقُماشُ.

حَذارِ مِنْ تَلْويثِ ثِيابِكَ بِهٰذا ٱلصِّبْغِ، وٱلْبَسْ قُفّازَيْ مَطّاطٍ لِوِقايَةِ يَدَيْكَ. إِنَّ هٰذا ٱلنَّوْعَ مِنَ ٱلصِّبْغِ يَزولُ بِٱلغَسْلِ وهٰذا يَعْني أَنَّهُ «يَنْحَلُّ» إذا تَرَطَّبَ ٱلقُماشُ.

إِصْنَعِ ٱلصِّبْغَ في ماءٍ ساخِنٍ

صَفِّ ٱلصِّباغَ

اِغْسِلِ ٱلقُماشَ

إِنْقَعِ ٱلقُماشَ في ٱلصِّباغِ ٱلسّاخِنِ

قُفّازا مَطّاطٍ

أُتْرُكِ ٱلقُماشَ لِيَجِفَّ

كِشْمِشٌ

شَمَنْدَرٌ

جَوْزٌ

بَصَلٌ

عَصا ٱلذَّهَبِ

إلى اليمين

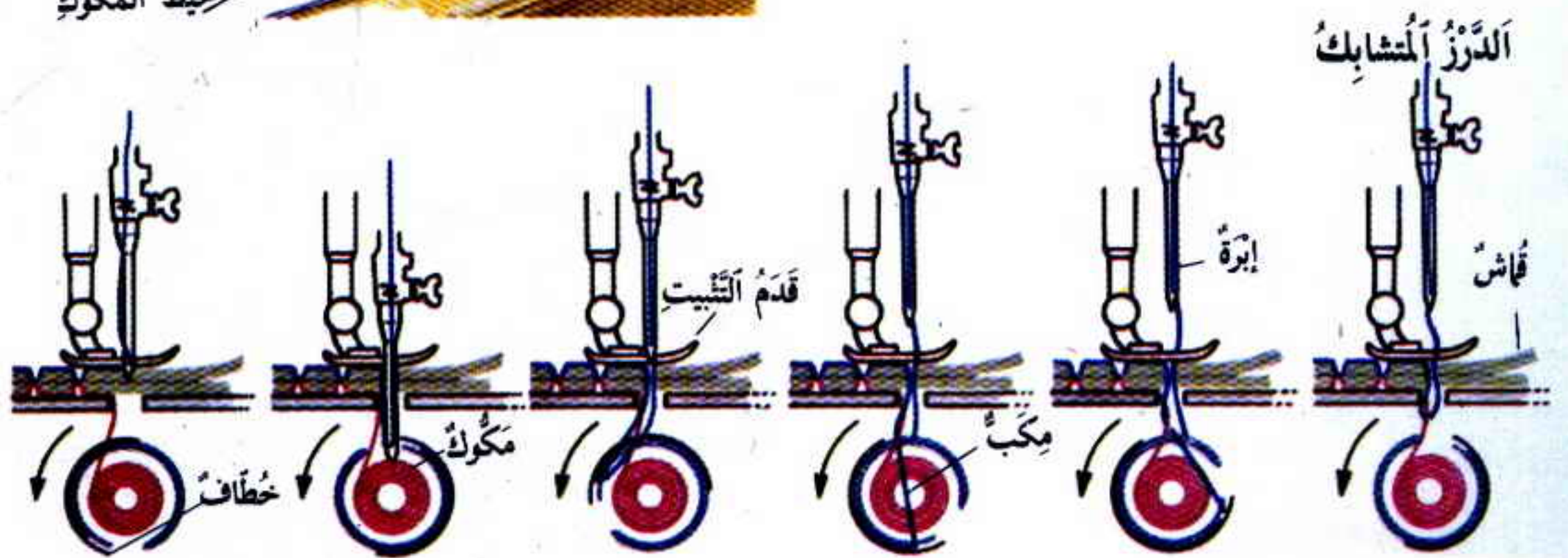
تبدو هذه الأنسجة وكأنها من ألياف طبيعية، ولكنها في الواقع ألياف اصطناعية (أي من صنع الإنسان). إنها أسهل غسلًا وتبقى نظيفة مدة أطول كما إنها لا تحتاج إلى الكي في معظم الأحيان. وهناك اتجاه إلى صنع الملابس من مزيج من الألياف الطبيعية والصناعية للاستفادة من مزايا النوعين.

إلى اليمين

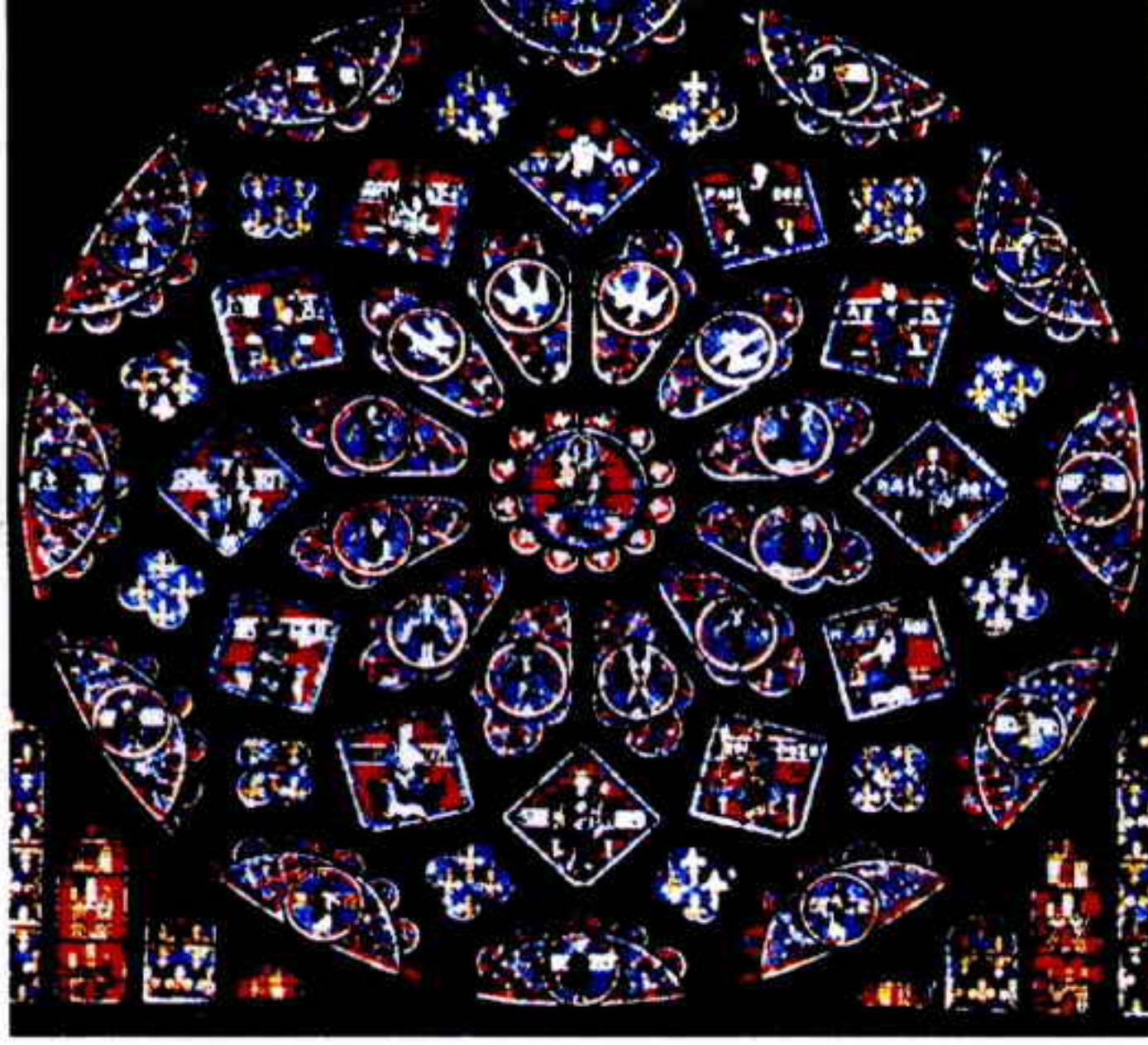
تستخدم الطباعة الأسطوانية لطبع النقوش على القماش. يحفر النموذج على أسطوانة نحاسية وتعبأ فجواتها بالصبغ. هذه المكنة مجهزة بست أسطوانات تحمل كل منها نموذجًا مختلف النقش وصبغًا مختلف اللون. وتجري عملية الطبع بإمرار القماش على هذه الأسطوانات.

الإبرة التي تتحرك بدورها صعودًا وهبوطًا، حاملة معها خيط البكرة العلوية. وفي أثناء الحركة السفلية ينشط هذا الخيط حول خيط المكوك في داخل المكنة لصنع الغرزة. ويتحرك كلب التغذية المؤلف من صفين من النتوءات المعدنية خلفًا وأمامًا، نابرًا في حركته الخلفية فيجر معه القماش وخفيضًا في حركته الأمامية ليعود إلى مكانه استعدادًا لجر جزء تالٍ من قطعة القماش.

إلى اليمين

مكنة خياطة مسلكة الخيط جاهزة للاستعمال.

إلى اليمين

يرينا الشكل كيفية تشابك خيط البكرة العلوية مع خيط المكب من داخل مكنة الخياطة لتكوين القطب.

فوق

نافذتان رائعتا الزخرفة أولاهما (إلى اليسار) وردية النسق مزينة بالزجاج الملون صنعت في فرنسا في القرن الثاني عشر، والثانية (إلى اليمين) حديثة (١٩٦١) تمثل صورة ملاك منقوشة على الزجاج بالنقش.

الزجاج

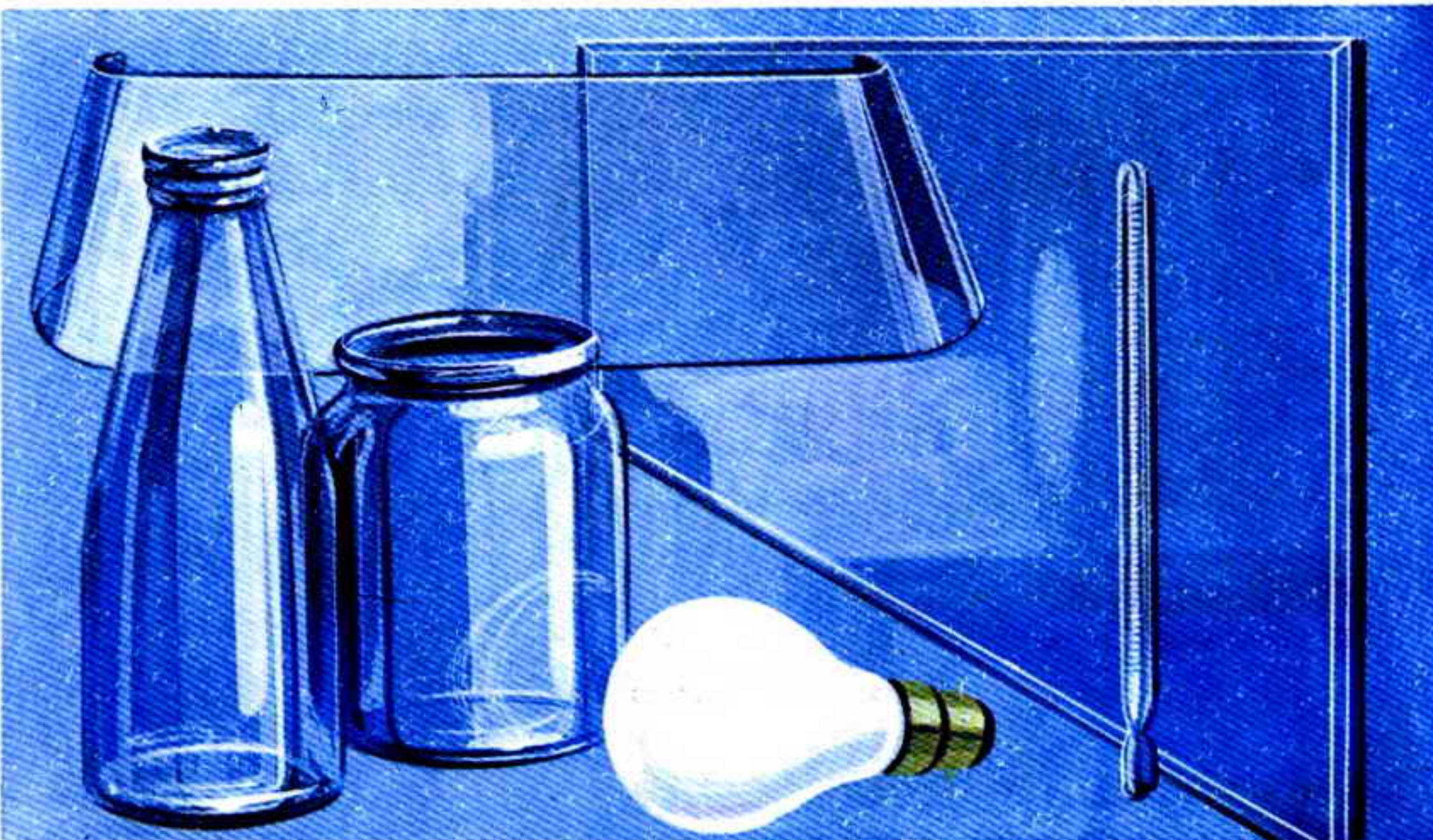
أصبحت المواد اللدائنية كالنايلون والباكليت والبرسبكس شائعة الاستعمال في عصرنا الحاضر، وهي مواد لا توجد في الطبيعة كالحجر والخشب بل تحضر اصطناعيًا. وأقدم المواد المستحضرة اصطناعيًا هو الزجاج الذي بدأ الإنسان استخدامه منذ حوالى ٣٠٠٠ سنة.

يصنع الزجاج بطحن مزيج من الرمل والصودا والحجر الجيري وإحمائه إلى درجة حرارة تقارب ١٥٠٠° مئوية حتى يصبح المزيج صافيًا هلامي القوام. وعندما يبرد هذا المزيج يتحول إلى كتلة صلبة قصفة من الزجاج. وللحصول على زجاج ملون تضاف كميات قليلة من مواد كماوية أخرى. وحيث إن الرمل يحوي دائمًا بعض الحديد فإن الزجاج الناتج يبدو مخضرًا ما لم ينق الرمل من هذا الحديد سلفًا.

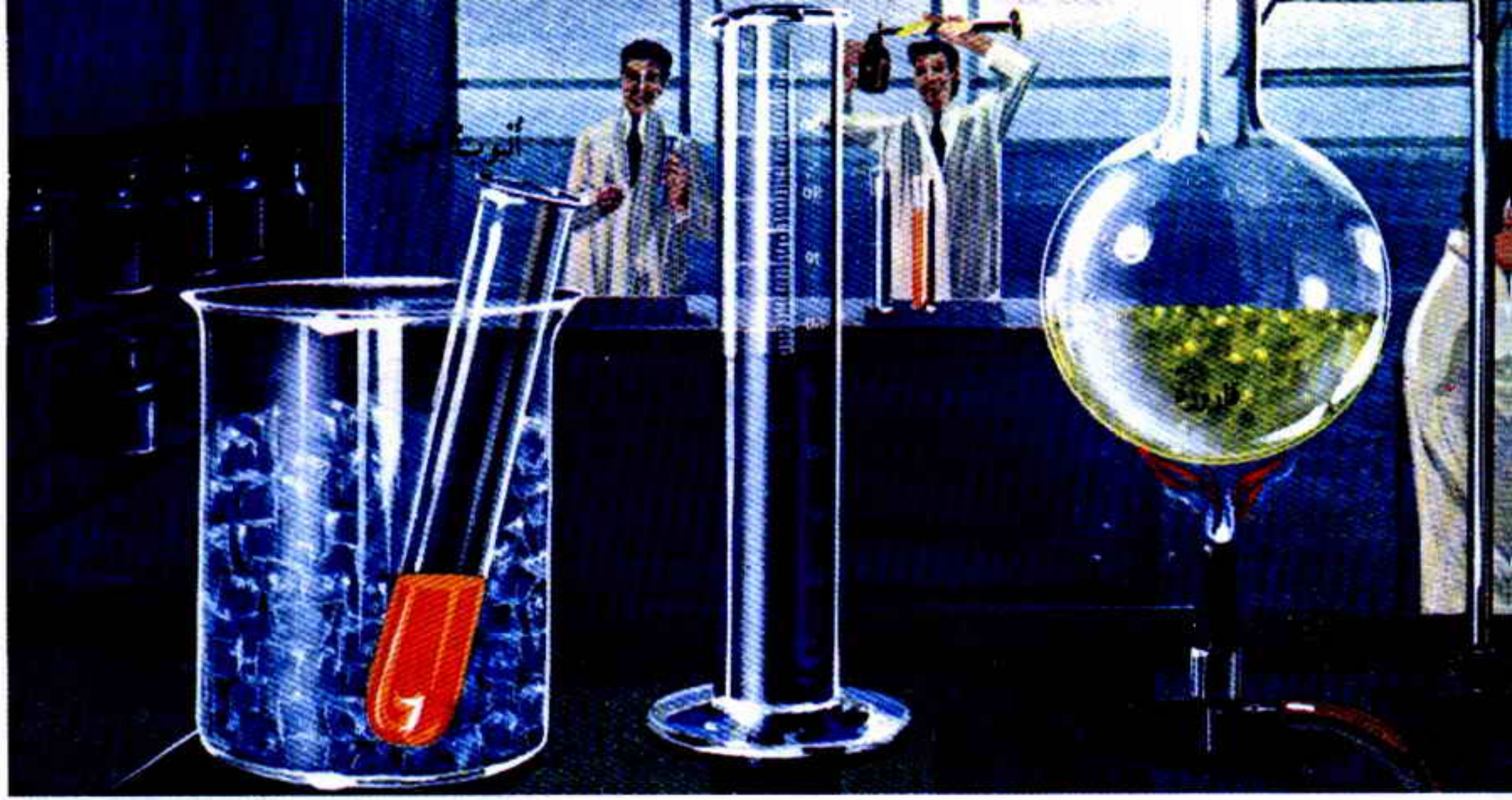
يستخدم الزجاج لصنع المرطبانات والقناني وغيرها من الأوعية. وقد اكتشف الإنسان إمكانية نفخ الزجاج الرخو الساخن بأنبوب معدني وتشكيله منذ حوالى ٢٠٠٠ عام، واليوم أصبح نفخ الزجاج يتم بالمكنات. ويستخدم الزجاج أيضًا في صنع زجاج النوافذ. وقد كانت القطع الزجاجية المصنوعة صغيرة يجري ضمها في أطر رصاصية، ثم صارت النوافذ تصنع بالنفخ من فقاعات كبيرة يجري تبسيطها إلى صفائح. والنوافذ المصنوعة بهذه الطريقة تحمل في وسطها نتوءًا هو مكان اتصال الفقاعة الزجاجية بأنبوب النفخ.

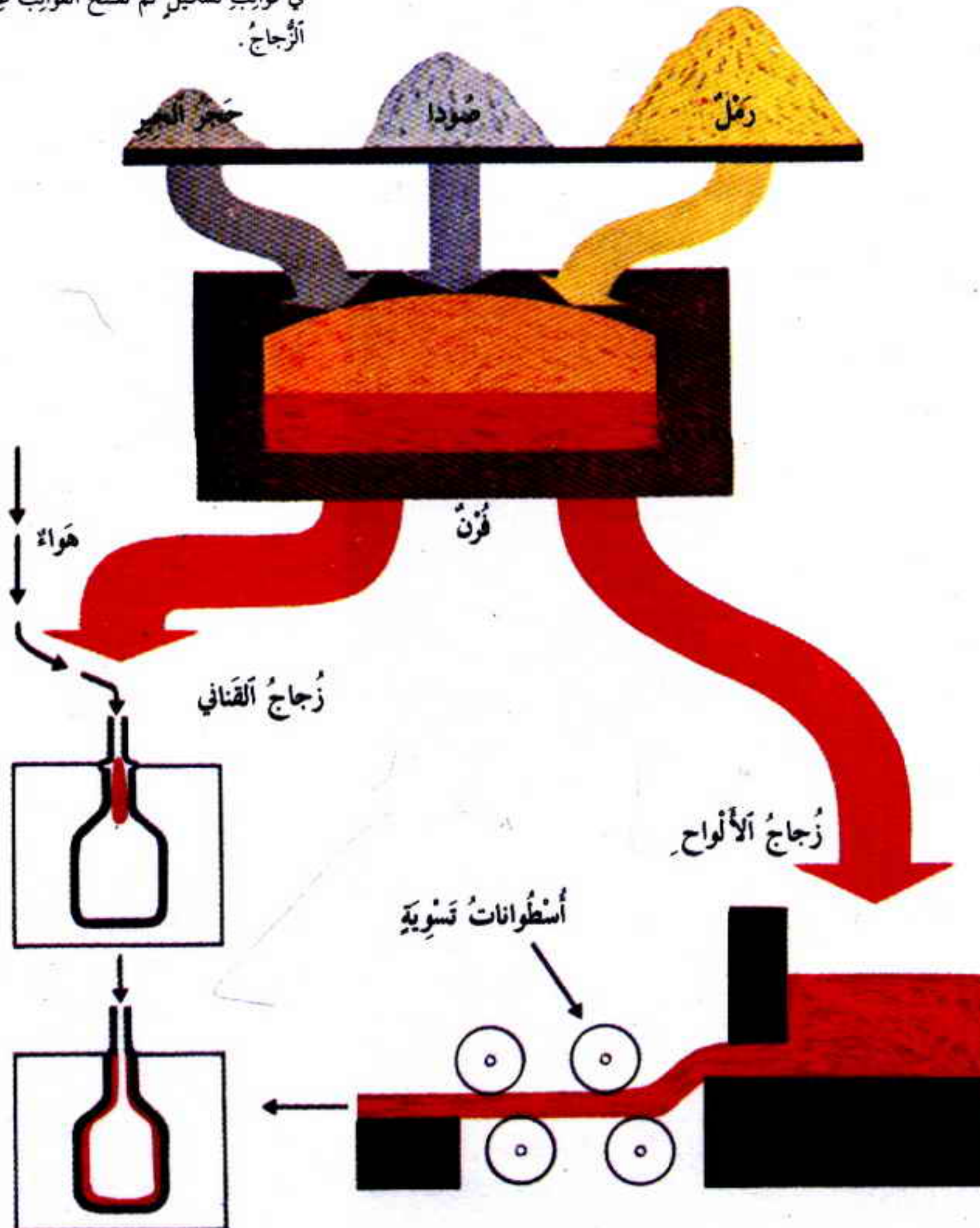
وتصنع معظم المرطبانات والقناني حاليًا بالمكنات في قوالب، بينما تصنع ألواح الزجاج بتبسيط الزجاج الرخو الساكن بين أسطوانات التسوية وتركها لتبرد على

فوق

جمال الزجاج كان دائمًا موضع تقدير الإنسان واهتمامه. هذه الكأس زخرفت بمنقاش ماسي الطرف سنة ١٦٨٦.

إلى اليسار

بعض الأدوات الزجاجية للاستعمالات اليومية: لوح زجاجي، بصلة مصباح كهربائي، قنينة لبن، مرطبان مربى، حاجب الريح في سيارة وميزان حرارة.

إلى اليمين
يُسْتَخْدَمُ الزُّجاجُ في مُخْتَبَراتِ البَحْثِ العِلْميِّ لأنَّهُ صامِدٌ لِلْحَرارَةِ ولا يَتَأَثَّرُ بالكيماويّاتِ كالحَوامِضِ والقَلَوِيّاتِ. وتُسْتَخْدَمُ الماصَّةُ المُدَرَّجَةُ لِنَقْلِ السَّوائِلِ بِكَمِّيّاتٍ دَقيقَةٍ مُحَدَّدَةٍ.

إلى اليَمين
ويُسْتَخْدَمُ الزُّجاجُ في صُنْعِ العَدَساتِ، وهٰذِهِ تَحْرِفُ اتِّجاهَ مَسْرَى الضَّوْءِ. وتَتَفاوَتُ كَمِّيَّةُ الانْحِرافِ بالنِّسْبَةِ إلى شَكْلِ العَدَسَةِ ونَوْعِيَّةِ زُجاجِها. وتُسْتَخْدَمُ العَدَساتُ في النَّظّاراتِ وفي أدواتٍ بَصَرِيَّةٍ أُخْرى كالتِّلِسْكوبِ والمِنْظارِ والمِكْروسْكوبِ والكاميرا. وتُصْنَعُ العَدَساتُ مِنْ زُجاجٍ عالي النَّقاوَةِ والنَّوْعِيَّةِ يُسَمَّى الزُّجاجَ البَصَرِيَّ.

إلى أَسْفَلُ
صُنْعُ أَلْواحِ الزُّجاجِ والقَناني. تُنْفَخُ القَناني آلِيًّا في قَوالِبِ تَشْكيلٍ ثُمَّ تُفْتَحُ القَوالِبُ عِنْدَما يَبْرُدُ الزُّجاجُ.

مَهْلٍ، ثُمَّ يَجْري صَقْلُها. كَذٰلِكَ أَصْبَحَتْ تُصْنَعُ أَنْواعٌ مُخْتَلِفَةٌ مِنَ الزُّجاجِ بإضافَةِ مَوادَّ أُخْرى إلى الرَّمْلِ والصُّودا والحَجَرِ الكِلْسِيِّ.

فَزُجاجُ الحاجِبِ الأَماميِّ في السَّيّارَةِ قَويٌّ جِدًّا، وإذا تَحَطَّمَ فإنَّهُ يَتَكَسَّرُ إلى شَقَفٍ كَثيرَةٍ كَليلَةِ الحَدِّ حَتّى لا تُضِرَّ بالسّائِقِ والرُّكّابِ. كَذٰلِكَ يُمْكِنُ صُنْعُ زُجاجٍ صامِدٍ لِلْحَرارَةِ، فَزُجاجُ **البَيْرِكْس** مَثَلًا لا يَتَشَقَّقُ بالتَّسْخينِ كَما يَفْعَلُ الزُّجاجُ العادِيُّ وَهُوَ أَكْثَرُ مِنْهُ مُقاوَمَةً لِلْكَسْرِ إذا سَقَطَ، لِذٰلِكَ يُسْتَخْدَمُ في صُنْعِ أَطْباقِ الطَّبْخِ. أَمّا سُطوحُ الصَّواريخِ والعَرَباتِ الفَضائِيَّةِ الَّتي تَتَعَرَّضُ في أَثْناءِ الانْطِلاقِ أَوِ العَوْدَةِ إلى دَرَجاتِ حَرارَةٍ عالِيَةٍ جِدًّا فإنَّها تُغَطّى بِزُجاجٍ حَرارِيٍّ خاصٍّ اسْمُهُ **بِيْروسِيل**. وهٰذا الزُّجاجُ صارَ أَيْضًا يُسْتَخْدَمُ في صُنْعِ أَطْباقِ الطَّبْخِ في الأَفْرانِ.

ويُمْكِنُ صُنْعُ الزُّجاجِ بِشَكْلِ خُيوطٍ رَفيعَةٍ جِدًّا، ومِنْ هٰذا **الزُّجاجِ اللِّيفِيِّ** يُنْسَجُ قُماشٌ قَوِيُّ الاحْتِمالِ غَيْرُ قابِلٍ لِلاحْتِراقِ، يُسْتَخْدَمُ غالِبًا في صُنْعِ السَّتائِرِ. كَما يُمْكِنُ مَزْجُ الأَلْيافِ الزُّجاجِيَّةِ باللَّدائِنِ لِصُنْعِ مادَّةٍ خَفيفَةٍ مَتينَةٍ، لا تَصْدَأُ كالحَديدِ ولا تَتَعَفَّنُ كالخَشَبِ، وهٰذِهِ المادَّةُ أَصْبَحَتْ تُسْتَخْدَمُ في صُنْعِ هَياكِلِ السَّيّاراتِ والقَوارِبِ.

وفي عالَمِنا المُعاصِرِ هُنالِكَ بَدائِلُ كَثيرَةٌ لِلزُّجاجِ كالبِرسْبِكْس واللَّدائِنِ الأُخْرى. وهٰذِهِ تَمْتازُ بِخِفَّةِ الوَزْنِ ومُقاوَمَةِ الانْكِسارِ. وقَدْ أَصْبَحَ الكَثيرُ مِنَ القَناني والأَوْعِيَةِ الأُخْرى يُصْنَعُ مِنَ المَوادِّ اللَّدائِنِيَّةِ. لٰكِنَّ المَوادَّ اللَّدائِنِيَّةَ لا تُضاهي الزُّجاجَ مِنْ حَيْثُ مُقاوَمَتُه لِلْحَرارَةِ وعَدَمُ تَأَثُّرِهِ بالكيماوِيّاتِ.

فيلْمُ ٱلتَّصْوِيرِ ٱلفُوتُوغرافِيِّ

عَرَفَ ٱلعُلَماءُ مُنْذُ عِدَّةِ قُرونٍ أَنَّ بَعْضَ ٱلمَوادِّ ٱلكِيماوِيَّةِ يَتَغَيَّرُ لَوْنُها بِتَأْثيرِ ٱلضَّوْءِ، أَيْ أَنَّها **حَسَّاسَةٌ لِلضَّوْءِ**. فَٱلضَّوْءُ مَثَلًا يُحْدِثُ قَتامَةً في مُرَكَّباتِ ٱلفِضَّةِ (بَعْدَ مُعالَجَتِها بِٱلكِيماوِيّاتِ ٱلمُناسِبَةِ). وهٰذِهِ ٱلمُرَكَّباتُ، وعَلى ٱلأَخَصِّ **بْرُومِيدُ ٱلفِضَّةِ**، هِيَ ٱلَّتي تُسْتَخْدَمُ في صُنْعِ أَفْلامِ ٱلتَّصْويرِ ٱلفُوتوغْرافِيِّ (أَوِ ٱلضَّوْئِيِّ).

هُنالِكَ عِدَّةُ أَنْواعٍ مِنَ ٱلأَفْلامِ جَميعُها يَحْوي عَلى ٱلأَقَلِّ طَبَقَةً واحِدَةً حَسَّاسَةً لِلضَّوْءِ هِيَ **ٱلمُسْتَحْلَبُ**. وفي فيلْمِ ٱلتَّصْويرِ بِٱلأَبْيَضِ وٱلأَسْوَدِ يَتَأَلَّفُ ٱلمُسْتَحْلَبُ مِنْ طَبَقَةٍ هُلامِيَّةٍ (**جيلاتينِيَّةٍ**) تَحْوي بِلَّوْراتٍ دَقيقَةً مِنْ بْروميدِ ٱلفِضَّةِ، مَطْلِيَّةً فَوْقَ قاعِدَةٍ لَدائِنِيَّةٍ أَوْ زُجاجِيَّةٍ.

وتَعْمَلُ ٱلكاميرا عَلى تَرْكيزِ ٱلضَّوْءِ ٱلصَّادِرِ أَوِ ٱلمُنْعَكِسِ عَنِ ٱلجِسْمِ ٱلمُرادِ تَصْويرُهُ، عِنْدَ فَتْحِ ٱلغَلَقِ، نَحْوَ ٱلمُسْتَحْلَبِ. وَيُؤَثِّرُ ٱلضَّوْءُ ٱلصَّادِرُ مِنْ مُخْتَلِفِ أَجْزاءِ ٱلجِسْمِ في بْروميدِ ٱلفِضَّةِ بِنِسَبٍ مُتَفاوِتَةٍ تَزيدُ أَوْ تَنْقُصُ حَسَبَ شِدَّةِ ٱلضَّوْءِ. وهٰكَذا تَتَكَوَّنُ في ٱلمُسْتَحلَبِ **صورَةٌ كامِنَةٌ** لِلجِسْمِ ٱلمُصَوَّرِ لا تُرى إِلَّا بَعْدَ تَظْهيرِ ٱلفيلْمِ.

وتَتِمُّ عَمَلِيَّةُ تَظْهيرِ ٱلفيلْمِ بِمَوادَّ كِيماوِيَّةٍ خاصَّةٍ في **حُجْرَةٍ مُعْتِمَةٍ** حَتَّى لا تَتَأَثَّرَ ٱلصُّورَةُ ٱلكامِنَةُ بِٱلضَّوْءِ ٱلطَّارِئِ. فَيُنْقَعُ ٱلفيلْمُ في وِعاءٍ يَحْوي **عامِلَ ٱلتَّظْهيرِ** لِمُدَّةٍ مُحَدَّدَةٍ في دَرَجَةِ حَرارَةٍ تُقارِبُ ٢٠° مِئَوِيَّةً. وَيُحْدِثُ ٱلمُظَهِّرُ ٱسْوِدادًا فِضِّيًّا أَوْ قَتامَةً في ٱلبِلَّوْراتِ تَتَناسَبُ شِدَّتُها مَعَ شِدَّةِ ٱلضَّوْءِ ٱلَّذي تَعَرَّضَ لَهُ ذٰلِكَ ٱلجُزْءُ مِنَ ٱلفيلْمِ. وفي هٰذِهِ ٱلصُّورَةِ يَتَعاكَسُ ٱلنُّورُ وٱلظُّلْمَةُ، فَٱلجُزْءُ ٱلظَّليلُ

داجير

فُوكس تالبُوت

غِطاءٌ لَوْلَبِيٌّ

يُمْكِنُ صَبُّ ٱلكِيماوِيّاتِ وتَفْريغُها عَبْرَ ثَقْبٍ خاصٍّ في ٱلغِطاءِ بِحَيْثُ لا يَصِلُ ٱلضَّوْءُ إِلى ٱلفيلْمِ.

عُلْبَةٌ لا يَنْفُذُ إِلَيْها ٱلضَّوْءُ

مِحَزٌّ لَوْلَبِيٌّ

بَكَرَةُ عُلْبَةِ ٱلتَّظْهيرِ

سَلْبِيَّةٌ

مُوجَبَةٌ

فوقُ

جُوزيف نيبْس (١٧٦٥ – ١٨٣٣) حَضَّرَ أَوَّلَ صورَةٍ فوتوغْرافِيَّةٍ بِتَعْريضِ سَطْحٍ حَسَّاسٍ لِلضَّوْءِ في آلَةِ تَصْويرٍ عام ١٨٢٦. وقَدْ عَمِلَ طَويلًا مَعَ لويس داجير (١٧٨٧ – ١٨٥١) وأَجْرَيا تَحْسيناتٍ عَلى طَريقَةِ إِعْدادِ ٱلفيلْمِ، وواصَلَ داجير ٱلعَمَلَ بَعْدَ وَفاةِ زَميلِهِ. وٱتَّبَعَ فُوكس تالْبوت طَريقَةً أُخْرى في ٱلتَّظْهيرِ، تُشْبِهُ ٱلطُّرُقَ ٱلمُسْتَخْدَمَةَ حَديثًا، لِلحُصولِ عَلى سَلْبِيّاتٍ صَغيرَةٍ عامَ ١٨٣٥.

إلى اليسار – فوق

تَظْهيرُ ٱلفيلْمِ في عُلْبَةٍ لا يَنْفُذُ إِلَيْها ٱلضَّوْءُ. في حُجْرَةٍ مُظْلِمَةٍ يُلْقَمُ ٱلفيلْمُ في حُزوزِ ٱلمِكَبِّ ٱللَّوْلَبِيِّ بِتَدْويرِ طَرَفِهِ ٱلعُلْوِيِّ. ثُمَّ يوضَعُ ٱلمِكَبُّ داخِلَ عُلْبَةِ ٱلتَّظْهيرِ ويُعالَجُ بِٱلكِيماوِيّاتِ واحِدًا بَعْدَ ٱلآخَرِ، أَوَّلًا بِٱلمُظَهِّرِ ثُمَّ بِٱلماءِ ثُمَّ بِعامِلِ ٱلتَّثْبيتِ. وبَعْدَ أَنْ يُغْسَلَ ٱلفيلْمُ ثانِيَةً بِٱلماءِ لِمُدَّةٍ تُقارِبُ ٤٥ دَقيقَةً يُرْفَعُ ٱلفيلْمُ ويُجَفَّفُ.

إلى ٱليَسار

جِهازُ تَكْبيرٍ. يَحْوي هٰذا ٱلجِهازُ عَدَسَةً مُحَدَّبَةً تَعْمَلُ كَعَدَسَةِ تَكْبيرٍ (ٱنْظُرْ صَفْحَةَ ٢١٦). توضَعُ ٱلسَّلْبِيَّةُ فَوْقَ ٱلعَدَسَةِ وتُضاءُ بِوَمْضَةِ نورٍ مِنْ فَوْقِها فَتَتَكَوَّنُ صورَةٌ مُكَبَّرَةٌ لِلسَّلْبِيَّةِ عَلى وَرَقَةِ ٱلتَّصْويرِ ٱلفوتوغْرافِيَّةِ ٱلمَوْضوعَةِ تَحْتَها.

إلى أَقْصى ٱليَسار

ٱلسَّلْبِيَّةُ وٱلصّورَةُ ٱلنِّهائِيَّةُ (ٱلمُوجَبَةُ) ٱلمَأْخوذَةُ عَنْها (لِصَبِيٍّ) بِفيلْمٍ أَبْيَضَ وأَسْوَدَ.

القاتِمُ مِنَ الجِسْمِ المُصَوَّرِ يَبْدُو صافِيًا (لأَنَّ الفيلْمَ شَفّافٌ ولا تَرَسُّبَ فِضِّيًّا عَلَيْهِ) بَيْنَما تَبْدو البُقَعُ المُنيرَةُ السّاطِعَةُ سَوداءَ. وهٰذا سَبَبُ تَسْمِيَةِ هٰذِهِ الصُّورَةِ **بالسَّلْبِيَّةِ**.

وبَعْدَ غَسْلِ الفيلْمِ بالماءِ يُغْمَسُ في مِغْطَسِ تَثْبيتٍ يَحْوي مَحْلولًا كيماوِيًّا **مُثَبِّتًا** (كالهَيْبو) لإذابَةِ بلّوراتِ بُروميدِ الفِضَّةِ الّتي لَمْ تَتَأَثَّرْ بالضَّوْءِ ولِتَثْبيتِ الصّورَةِ المُتَكَوِّنَةِ عَلى الفيلْمِ. ثُمَّ يُغْسَلُ الفيلْمُ ويُجَفَّفُ.

ولِلْحُصولِ عَلى صُورَةٍ مِنْ هٰذِهِ السَّلْبِيَّةِ تُوضَعُ السَّلْبِيَّةُ عَلى وَرَقٍ فُوتُوغْرافِيٍّ خاصٍّ يَحْوي طَبَقَةً مِنَ البلّوراتِ الدَّقيقَةِ الحَسّاسَةِ لِلضَّوْءِ، ثُمَّ تُعَرَّضُ الوَرَقَةُ الفوتوغْرافِيَّةُ والسَّلْبِيَّةُ فَوْقَها إلى وَمْضَةٍ ضَوْئِيَّةٍ. فَتُمِرُّ الأَجْزاءُ القاتِمَةُ مِنَ السَّلْبِيَّةِ ضَوْءًا قَليلًا بَيْنَما تُمِرُّ البُقَعُ الصّافِيَةُ مِنْها نُورًا قَوِيًّا.

وتُعالَجُ الوَرَقَةُ الفُوتُوغْرافِيَّةُ لِلتَّظْهيرِ والتَّثْبيتِ مِثْلَما يُعالَجُ الفيلْمُ لِلْحُصولِ عَلى الصّورَةِ النِّهائِيَّةِ. وفي هٰذِهِ الصّورَةِ تَكونُ المَناطِقُ القاتِمَةُ عَلى السَّلْبِيَّةِ بَيْضاءَ، والبَيْضاءُ عَلى السَّلْبِيَّةِ قاتِمَةً هُنا. أَيْ إِنَّ هٰذِهِ الصّورَةَ مُطابِقَةٌ تَمامًا لِلْجِسْمِ المُصَوَّرِ بالكاميرا أَصْلًا.

والأَفْلامُ الحالِيَّةُ أَصْغَرُ بِكَثيرٍ مِنَ الأَفْلامِ السّابِقَةِ. فإذا وُضِعَتِ السَّلْبِيَّةُ مُماسَّةً لِلْوَرَقَةِ الفُوتوغْرافِيَّةِ فالصُّورَةُ النّاتِجَةُ تَكونُ بِحَجْمِها وَهْيَ صُورَةٌ صَغيرَةٌ. ويُسْتَخْدَمُ **جِهازُ التَّكْبيرِ** لِلْحُصولِ عَلى صُورَةٍ أَكْبَرَ أَوْ لِتَكْبيرِ جُزْءٍ مِنْ تِلْكَ الصّورَةِ.

وتَسْتَخْدِمُ **كاميرا البُولارُويْد** نَوْعًا خاصًّا مِنَ الأَفْلامِ يَجْري تَظْهيرُهُ داخِلَ الكاميرا نَفْسِها. ويُمْكِنُكَ الحُصولُ عَلى صُورَةٍ بالأَسْوَدِ والأَبْيَضِ مُظَهَّرَةً جاهِزَةً في مَدى عَشْرِ ثَوانٍ مِنِ التِقاطِ الصّورَةِ بِهٰذِهِ الكاميرا. ويُمكِنُ الحُصولُ عَلى الصُّوَرِ المُلَوَّنَةِ والصُّوَرِ السّينِيَّةِ (بأَشِعَّةِ إِكْس) بالطَّريقَةِ ذاتِها.

إلى اليمين

صُورَةٌ لِلصَّدْرِ بالأَشِعَّةِ السّينِيَّةِ تَظْهَرُ فيها الأَضْلاعُ. لالْتِقاطِ هٰذِهِ الصُّورَةِ يَقِفُ الشَّخْصُ عَلى مَقْرُبَةٍ مِنَ الفيلْمِ (المُعَدِّ بطَريقَةٍ خاصَّةٍ لِيَكونَ حَسّاسًا لِلأَشِعَّةِ السّينِيَّةِ) بَيْنَهُ وبَيْنَ آلَةِ الأَشِعَّةِ السّينِيَّةِ. ولَمّا كانَ اللَّحْمُ والجِلْدُ شَفّافَيْنِ لِلأَشِعَّةِ والعَظْمُ غَيْرَ مُنْفِذٍ لَها فإِنَّ الصّورَةَ تُبَيِّنُ مَواضِعَ العِظامِ بِوُضوحٍ، بَيْضاءَ عَلى أَرْضِيَّةٍ سَوْداءَ في السَّلْبِيَّةِ وعَكْسَ ذٰلِكَ إذا اسْتُعْمِلَتِ السَّلْبِيَّةُ لِتَحْضيرِ صُورَةٍ نِهائِيَّةٍ.

إلى اليمين

صُورَةٌ بالأَشِعَّةِ تَحْتَ الحَمْراءِ مَأْخوذَةٌ مِنَ الجَوِّ لِمِنْطَقَةٍ شَجَرِيَّةٍ. مِنْطَقَةُ الأَشْجارِ العَديمَةِ الأَوْراقِ تَبْدو مُزْرَقَّةً، بَيْنَما السَّليمَةُ الشَّجَرِ تَبْدُو أُرْجُوانِيَّةً. فالمَعْروفُ أَنَّ الأَشْياءَ الدّافِئَةَ أَوِ الحارَّةَ تُشِعُّ أَوْ تَعْكِسُ كَمِّيّاتٍ مُتَفاوِتَةً مِنَ الأَشِعَّةِ تَحْتَ الحَمْراءِ تُحَدِّدُ لَوْنَها عَلى الفيلْمِ الحَسّاسِ لِهٰذِهِ الأَشِعَّةِ وهٰذِهِ الأَشِعَّةُ تَنْفُذُ عَبْرَ الضَّبابِ والجَوِّ إلى مَسافاتٍ بَعيدَةٍ. ولَمّا كانَ العُشْبُ وأَوْراقُ الشَّجَرِ يَعْكِسانِ هٰذِهِ الأَشِعَّةَ بِقُوَّةٍ فإِنَّ المَناطِقَ الغَنِيَّةَ بِها تَبْدُو أُرْجُوانِيَّةً في هٰذا التَّصْويرِ.

ورَقَةُ تَصْويرٍ فوتوغرافيٍّ

مَحْلولُ الهَيْبو (بتركيز ١٠ ٪)

صورة الورقة

إلى اليَمين

يُمْكِنُكَ إِجْراءُ عَمَلِيَّةِ تَصْويرٍ دُونَ آلَةٍ. أُحْصُلْ عَلى بِطاقَةِ تَصْويرٍ فُوتُوغْرافِيٍّ بَطيئَةِ التَّأَثُّرِ وضَعْ فَوْقَ سَطْحِها الحَسّاسِ جِسْمًا مُفَلْطَحًا كَوَرَقَةِ نَباتٍ مَثَلًا واضْغَطْها بَيْنَ لَوْحٍ مِنَ الكَرْتونِ وآخَرَ مِنَ الزُّجاجِ. عَرِّضِ البِطاقَةَ لِلشَّمْسِ حَتّى يَتَحَوَّلَ لَوْنُها إلى الأُرْجُوانِيِّ القاتِمِ. اِرْفَعِ الوَرَقَةَ النَّباتِيَّةَ ولاحِظْ صُورَتَها عَلى البِطاقَةِ: إِنَّ عُروقَ الوَرَقَةِ تَبْدُو بَيْضاءَ لأَنَّها أَنْفَذَتْ كَمِّيَّةً أَقَلَّ مِنَ الضَّوْءِ. ولِتَثْبيتِ هٰذِهِ الصُّورَةِ انْقَعْها مُدَّةَ خَمْسِ دَقائِقَ في مَحْلولِ الهَيْبو (ثيُوكِبْرِيتاتِ الصُّوديُوم) المُضافِ إِلَيْهِ مَحْلولٌ مُخَفَّفٌ مِنْ نِتْراتِ الفِضَّةِ في الماءِ بِنِسْبَةِ واحِدٍ إلى عَشَرَةٍ. ثُمَّ اغْسِلِ البِطاقَةَ وجَفِّفْها واضْغَطْها لِتَبْقى سَوِيَّةَ السَّطْحِ.

اَلمَجاهِرُ (اَلمِكْروسْكوباتُ)

بَعْضُ ٱلأَجْسامِ دَقيقٌ جِدًّا حَتَّى إِنَّهُ لا يُرى (أَوْ لا يُرى بِوُضوحٍ) بِٱلعَيْنِ ٱلمُجَرَّدَةِ، لِذا نَسْتَخْدِمُ ٱلمِجْهَرَ لِتَكْوينِ **صورَةٍ** مُكَبَّرَةٍ لِمِثْلِ هٰذِهِ ٱلأَجْسامِ. **وقُوَّةُ ٱلتَّكْبيرِ** لِأَيِّ جِهازٍ بَصَرِيٍّ هِيَ حَجْمُ ٱلصّورَةِ ٱلنّاتِجَةِ مَقْسومًا عَلى حَجْمِ ٱلجِسْمِ. فَإِذا كانَتْ قُوَّةُ ٱلتَّكْبيرِ ١٠٠ فَيَعْني ذٰلِكَ أَنَّ ٱلصّورَةَ أَكْبَرُ مِنَ ٱلجِسْمِ مِئَةَ مَرَّةٍ.

وَٱلمِجْهَرُ ٱلبَصَرِيُّ يَسْتَخْدِمُ ٱلعَدَساتِ ٱلزُّجاجِيَّةَ في تَكْوينِ صُوَرٍ مُكَبَّرَةٍ، وَأَبْسَطُ أَنْواعِهِ **ٱلعَدَسَةُ ٱلمُكَبِّرَةُ**. وَهِيَ عِبارَةٌ عَنْ عَدَسَةٍ مُحَدَّبَةٍ تُوضَعُ عَلى مَقْرُبَةٍ مِنَ ٱلجِسْمِ ٱلمَنْظورِ وَتُحَرَّكُ بِٱتِّجاهِ ٱلعَيْنِ حَتَّى تُرى لِلْجِسْمِ صورَةٌ واضِحَةٌ مُكَبَّرَةٌ (تَقْديرِيَّةٌ – أُنْظُرْ صَفْحَةَ ١٢٨).

أَمّا ٱلمِجْهَرُ ٱلمُرَكَّبُ ٱلَّذي يُسْتَخْدَمُ في ٱلمُخْتَبَراتِ فَيَتَأَلَّفُ مِنْ مَجْموعَةٍ مِنَ ٱلعَدَساتِ عَلى حامِلٍ وَقاعِدَةٍ كَما في ٱلشَّكْلِ أَدْناهُ. وَيُسْتَخْدَمُ في عَمَلِيَّةِ ٱلتَّكْبيرِ عَدَسَتانِ فَقَطْ هُما **ٱلعَيْنِيَّةُ** (ٱلَّتي نَنْظُرُ مِنْها) وَإِحْدى **ٱلعَدَساتِ ٱلشَّيْئِيَّةِ** (ٱلقَريبَةِ مِنَ ٱلشَّيْءِ ٱلمَنْظورِ) وَكِلْتاهُما مُحَدَّبَةٌ.

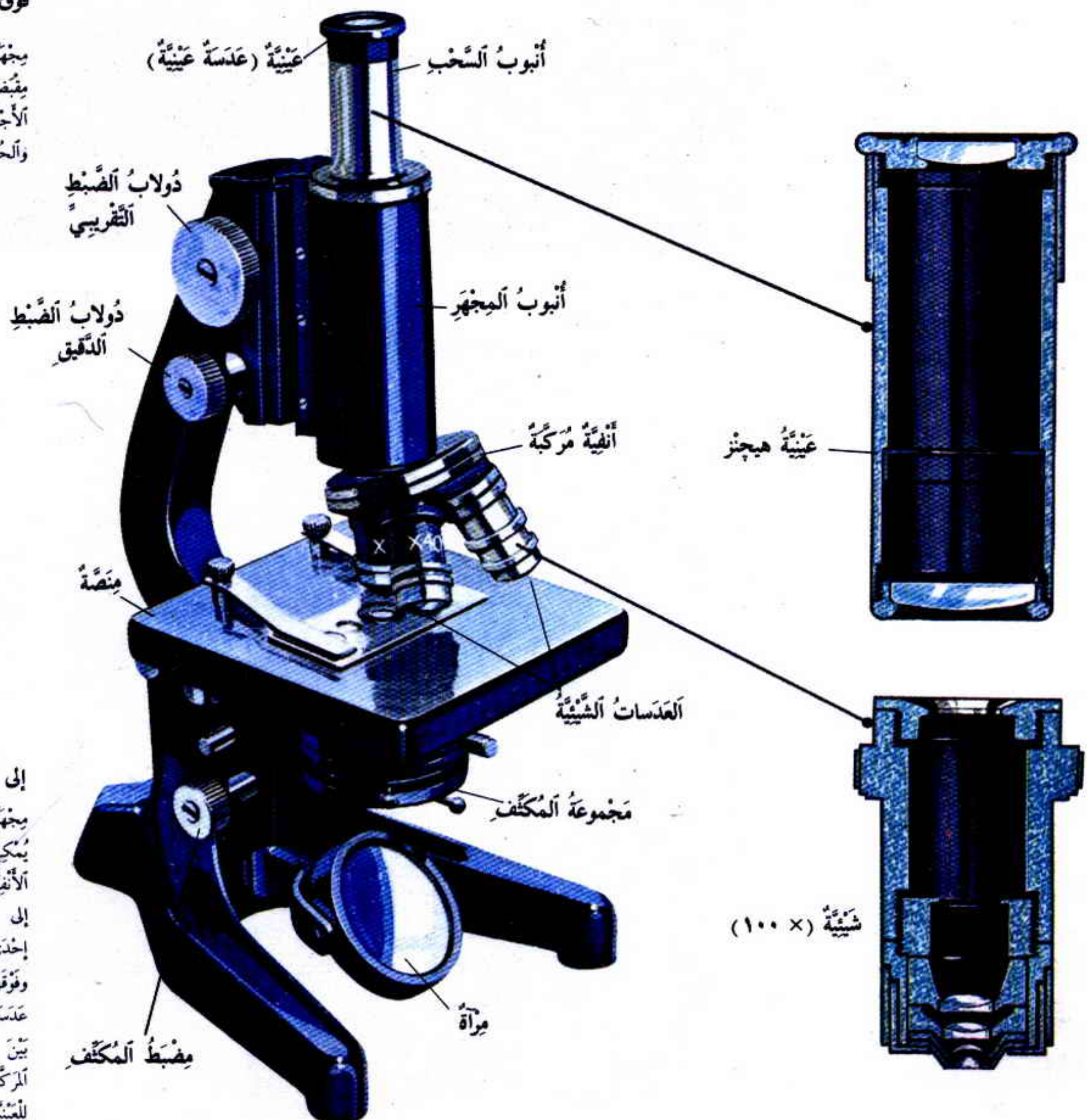
يوضَعُ ٱلجِسْمُ ٱلدَّقيقُ عَلى شَريحَةٍ زُجاجِيَّةٍ تُنارُ مِنْ أَسْفَلَ بِٱلضَّوْءِ ٱلَّذي تَعْكِسُهُ ٱلمِرْآةُ، وَتُرَكِّزُ إِحْدى ٱلعَدَساتِ ٱلشَّيْئِيَّةِ عَلَيْهِ فَتُكَوِّنُ لَهُ صورَةً مُكَبَّرَةً مَقْلوبَةً (حَقيقِيَّةً). وَتَتَلَقّى ٱلعَدَسَةُ ٱلعَيْنِيَّةُ هٰذِهِ ٱلصّورَةَ فَتُكَبِّرُها، تَمامًا كَما تَفْعَلُ ٱلعَدَسَةُ ٱلمُكَبِّرَةُ (في ٱلمِجْهَرِ ٱلبَسيطِ). وَٱلتَّكْبيرُ ٱلإِجْمالِيُّ لِلْمِجْهَرِ هُوَ حاصِلُ ضَرْبِ قُوَّتَيِ ٱلتَّكْبيرِ لِلْعَيْنِيَّةِ وَٱلشَّيْئِيَّةِ، وَقَدْ يَصِلُ هٰذا إِلى ٱلأَلْفِ ضِعْفٍ. وَهٰكَذا يُصْبِحُ بِٱلإِمْكانِ رُؤْيَةُ ٱلكائِناتِ ٱلمِجْهَرِيَّةِ وَٱلتَّفاصيلِ ٱلمُخْتَلِفَةِ لِأَجْزاءِ ٱلنَّباتِ وَٱلحَيَوانِ ٱلدَّقيقَةِ.

وَعِنْدَما يُرادُ ٱلحُصولُ عَلى قُوَّةِ تَكْبيرٍ أَعْلى يُسْتَخْدَمُ

فَوْقُ

مِجْهَرٌ بَسيطٌ هُوَ عِبارَةٌ عَنْ عَدَسَةٍ مُكَبِّرَةٍ ذاتِ مِقْبَضٍ. تُفيدُ ٱلعَدَسَةُ ٱلمُكَبِّرَةُ في دِراسَةِ تَفاصيلِ ٱلأَجْسامِ ٱلصَّغيرَةِ كَٱلحَشَراتِ وَطَوابِعِ ٱلبَريدِ وَٱلحُروفِ ٱلدَّقيقَةِ.

عَيْنِيَّةٌ (عَدَسَةٌ عَيْنِيَّةٌ)
أُنْبوبُ ٱلسَّحْبِ
دولابُ ٱلضَّبْطِ ٱلتَّقْريبِيِّ
أُنْبوبُ ٱلمِجْهَرِ
دولابُ ٱلضَّبْطِ ٱلدَّقيقِ
أَنْفِيَّةٌ مُرَكَّبَةٌ
عَيْنِيَّةُ هيجِنْز
مِنَصَّةٌ
ٱلعَدَساتُ ٱلشَّيْئِيَّةُ
مَجْموعَةُ ٱلمُكَثِّفِ
شَيْئِيَّةٌ (× ١٠٠)
مِرْآةٌ
مِضْبَطُ ٱلمُكَثِّفِ

إِلى ٱليَمينِ

مِجْهَرٌ مُرَكَّبٌ تَتَأَلَّفُ أَنْفِيَّتُهُ مِنْ ٣ شَيْئِيّاتٍ، يُمْكِنُ ٱلتَّبْديلُ مِنْ واحِدَةٍ إِلى أُخْرى بِتَدْويرِ قُرْصِ ٱلأَنْفِيَّةِ وَبِذٰلِكَ تَتَغَيَّرُ نِسْبَةُ ٱلتَّكْبيرِ. وَتُشاهِدُ إِلى يَسارِ ٱلرَّسْمِ مَقْطَعًا طولِيًّا لِمَجْموعَةِ إِحْدى ٱلعَدَساتِ ٱلشَّيْئِيَّةِ قُوَّةُ تَكْبيرِها ١٠٠. وَفَوْقَها مَقْطَعٌ طولِيٌّ لِعَيْنِيَّةِ هيجِنْز ٱلمُؤَلَّفَةِ مِنْ عَدَسَتَيْنِ. وَتَتَراوَحُ قُوَّةُ ٱلتَّكْبيرِ لِلْعَدَساتِ ٱلعَيْنِيَّةِ بَيْنَ ٥ و ١٠. وَقُوَّةُ ٱلتَّكْبيرِ ٱلإِجْمالِيَّةُ لِلْمِجْهَرِ ٱلمُرَكَّبِ تُساوي حاصِلَ ضَرْبِ قُوَّتَيِ ٱلتَّكْبيرِ لِلْعَيْنِيَّةِ وَٱلشَّيْئِيَّةِ.

ٱلمِجْهَرُ ٱلإلِكْترونيُّ. وَيُنارُ ٱلجِسْمُ ٱلمَنْظورُ في هٰذا ٱلمِجْهَرِ بِحُزَمٍ مِنَ ٱلأَشِعَّةِ ٱلإلِكْترونِيَّةِ بَدَلَ ٱلضَّوْءِ. وٱلإلِكْترونُ هُوَ جُسَيْمٌ دَقيقٌ مِنْ مادَّةِ ٱلذَّرَّةِ (ٱنْظُرْ صَفْحَةَ ١٥٦) لا يُمكِنُ رُؤْيَتُهُ. ويُمْكِنُ ٱلحُصولُ عَلَى ٱلأَشِعَّةِ ٱلإلِكْترونِيَّةِ (ٱللَّامَرْئِيَّةِ أَيْضًا) بِتَسْخينِ مِلَفٍّ سِلْكِيٍّ إلى دَرَجَةِ حَرارَةٍ عالِيَةٍ جِدًّا. والعَدَساتُ ٱلزُّجاجِيَّةُ لا تُؤَثِّرُ في مَسْرَى هٰذِهِ ٱلأَشِعَّةِ (مُقارَبَةً أَوِ ٱنْفِراجًا) فَيُسْتَخْدَمُ لِذٰلِكَ في ٱلمِجْهَرِ ٱلإلِكْترونيِّ مَغانِطُ خاصَّةٌ تُسَمَّى **ٱلعَدَساتِ ٱلمِغْنَطيسِيَّةَ**. عِنْدَ مُرورِ حُزْمَةِ ٱلأَشِعَّةِ ٱلإلِكْترونِيَّةِ عَبْرَ ٱلعَيِّنَةِ ٱلرَّقيقَةِ جِدًّا (مِنَ ٱلجِسْمِ ٱلمُرادِ دِراسَتُهُ) تَرْتَدُّ ٱلإلِكْتروناتُ عَنْ ذَرّاتِ شَريحَةِ ٱلعَيِّنَةِ وجُزَيْئاتِها ثُمَّ تُرَكِّزُها إحْدَى ٱلعَدَساتِ ٱلمِغْنَطيسِيَّةِ لِتُكَوِّنَ صورَةً لِلْعَيِّنَةِ. ومَعَ أَنَّ ٱلحُزْمَةَ ٱلإلِكْترونِيَّةَ غَيْرُ مَرْئِيَّةٍ فإنَّ ٱلصُّورَةَ ٱلنِّهائِيَّةَ تَبْدُو واضِحَةً لِلْعِيانِ كَما تَبْدو ٱلصُّورَةُ عَلى شاشَةِ ٱلتِّلِفِزْيونِ. وقَدْ يَصِلُ تَكْبيرُ هٰذِهِ ٱلصُّورَةِ إلى مِلْيونِ ضِعْفٍ.

وقُوَّةُ ٱلتَّكْبيرِ ٱلهائِلَةُ هٰذِهِ تُمَكِّنُ ٱلعُلَماءَ مِنْ دِراسَةِ ٱلأَشْياءِ ٱلبالِغَةِ ٱلدِّقَّةِ لِمَعْرِفَةِ خَفاياها وأَسْرارِها. وهٰذا يَجْعَلُ مِنَ ٱلمِجْهَرِ ٱلإلِكْترونيِّ أَداةَ بَحْثٍ قَيِّمَةً جِدًّا في حُقولِ ٱلعِلْمِ ٱلمُخْتَلِفَةِ كَٱلطِّبِّ وٱلكيمياءِ وٱلفيزياءِ وغَيْرِها.

إلى ٱليَمين

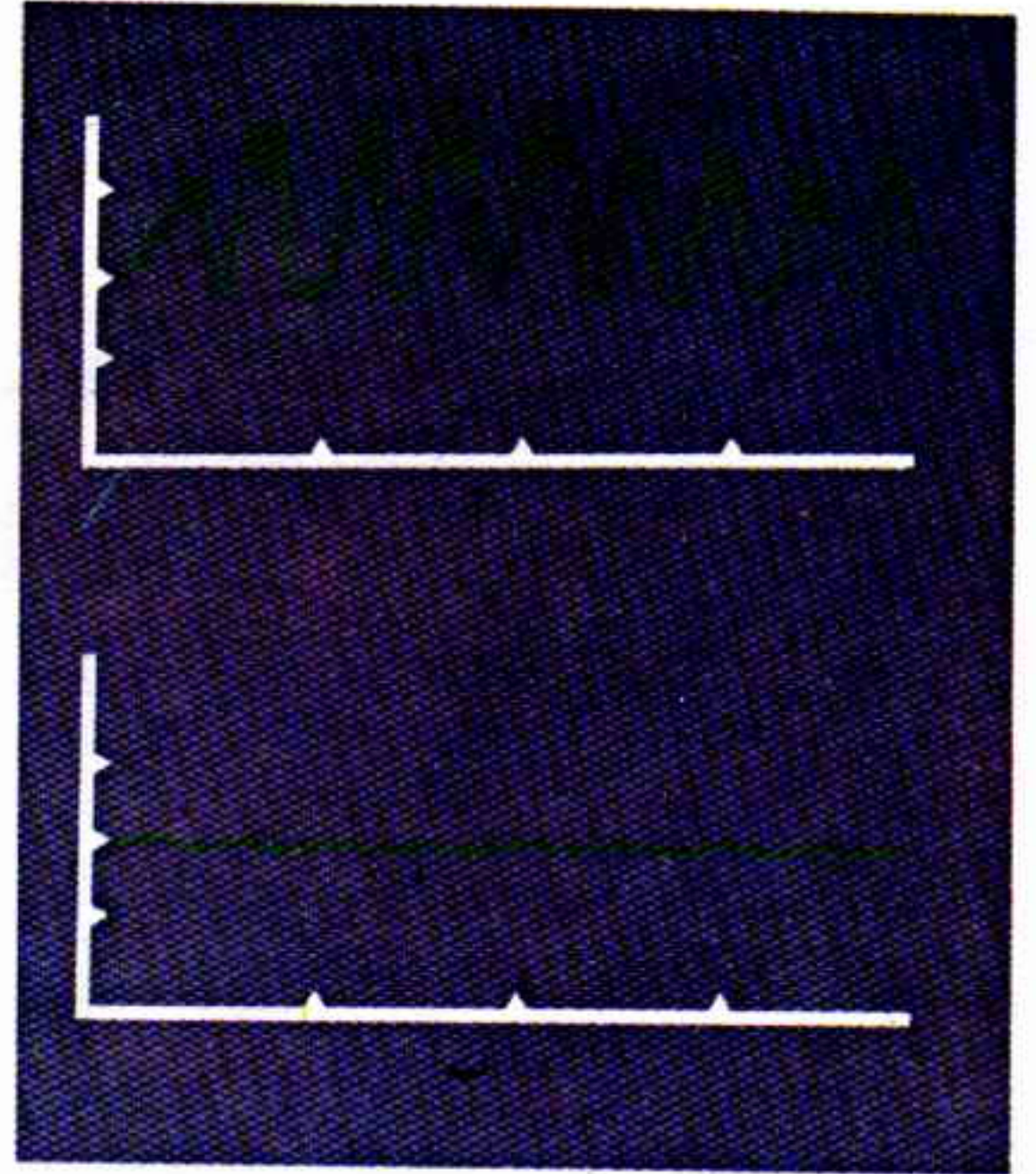
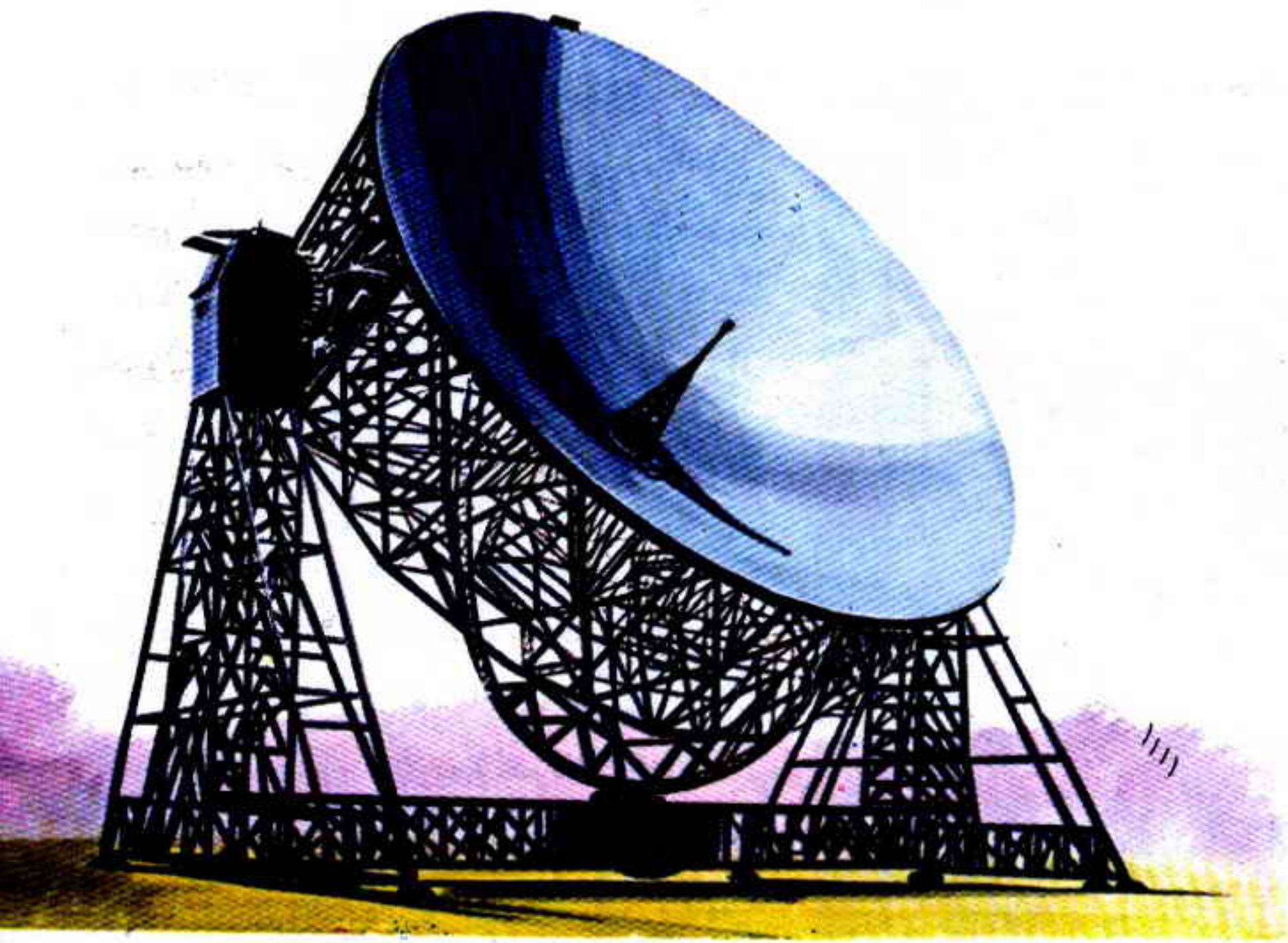
مُخَطَّطٌ يُبَيِّنُ أَجْزاءَ ٱلمِجْهَرِ ٱلإلِكْترونيِّ. تَتَكَوَّنُ ٱلصُّورَةُ بِطَريقَةٍ مُشابِهَةٍ لِتَكَوُّنِها في ٱلمِجْهَرِ ٱلبَصَرِيِّ لٰكِنَّها مُكَبَّرَةٌ أَكْثَرَ بِكَثيرٍ. ويُمْكِنُ بِذٰلِكَ دِراسَةُ تَفاصيلِ ٱلجُزْءِ ٱلدَّقيقِ مِنَ ٱلشَّيْءِ ٱلمَنْظورِ. ويُسْتَفادُ مِنْ صُوَرِ ٱلأَعْصابِ وٱلخَلايا وكُرَيّاتِ ٱلدَّمِ وٱلفَيْروساتِ، ٱلمَأْخوذَةِ أَوِ ٱلمُشاهَدَةِ بِهٰذا ٱلمِجْهَرِ، في دِراسَةِ خَصائِصِ هٰذِهِ ٱلأَشْياءِ وطَريقَةِ عَمَلِها.

إلى أسفل

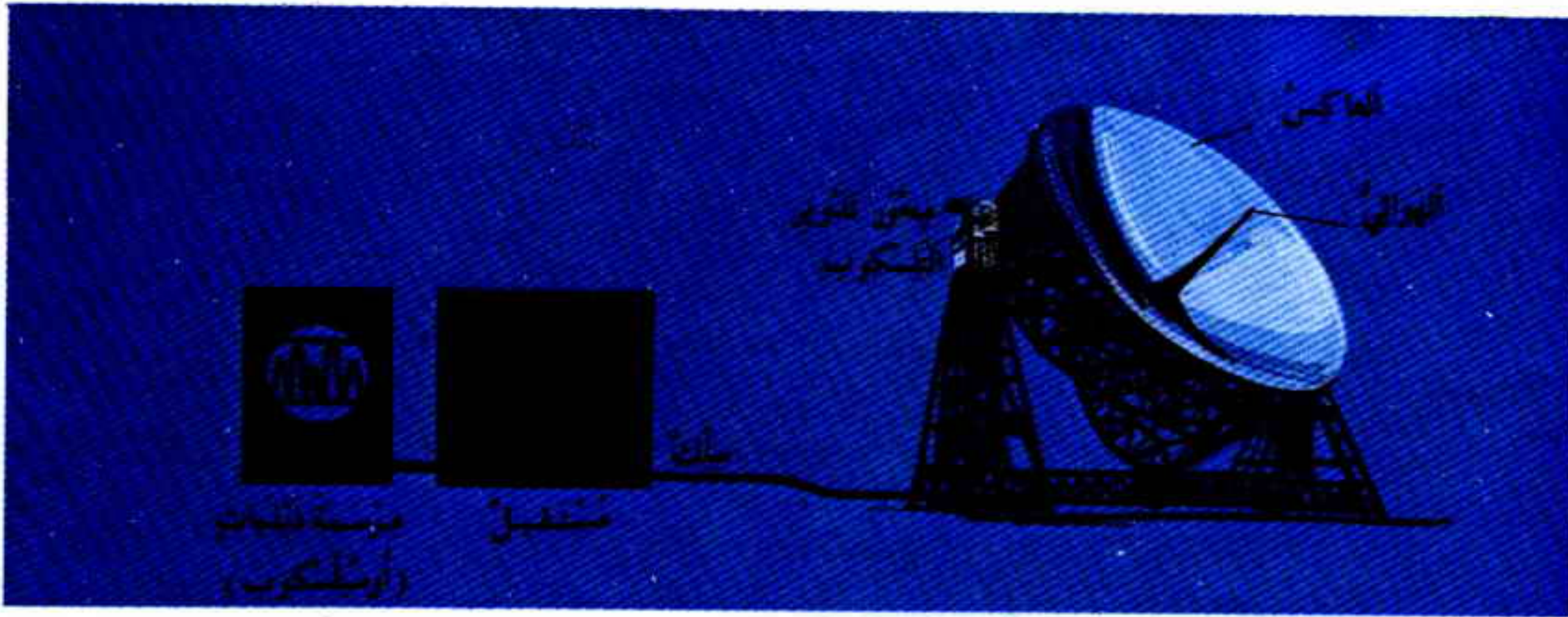
جَناحُ ذُبابَةٍ كَما يَبْدُو تَحْتَ عَدَسَةٍ مُكَبِّرَةٍ (مِجْهَرٍ بَسيطٍ) قُوَّةُ تَكْبيرِها ١٠.

إلى ٱليَمين

كُرَيّاتُ دَمٍ حَمْراءُ مُكَبَّرَةٌ ٥٠٠٠ مَرَّةٍ. يَحْتَوي ٱلدَّمُ عَلى كَمِّيّاتٍ كَبيرَةٍ مِنَ ٱلكُرَيّاتِ ٱلحَمْراءِ بِٱلإضافَةِ إلى مَوادَّ أُخْرى. تَنْقُلُ ٱلكُرَيّاتُ ٱلحَمْراءُ ٱلأُكْسِجينَ مِنَ ٱلأَوْعِيَةِ ٱلشَّعْرِيَّةِ في ٱلرِّئَتَيْنِ إلى سائِرِ أَنْحاءِ ٱلجِسْمِ. وقَدْ تَمَّ ٱلحُصولُ عَلى هٰذِهِ ٱلصُّورَةِ بِواسِطَةِ مِجْهَرٍ إلِكْترونيٍّ مَسْحِيٍّ وَهُوَ نَوْعٌ أَكْثَرُ تَعْقيدًا مِنَ ٱلمِجْهَرِ ٱلإلِكْترونيِّ ٱلعادِيِّ تَظْهَرُ فيهِ ٱلأَشْياءُ بِشَكْلٍ شِبْهِ طَبيعِيٍّ.

فَوْقُ

لا يُكَوِّنُ ٱلْمُسْتَقْبِلُ صُوَرًا لِلنُّجومِ ٱلرّادِيَةِ بَلْ يُسَجِّلُ مَعْلوماتٍ تَدُلُّ عَلى شِدَّةِ الأَنْبِعاثاتِ ٱلصّادِرَةِ عَنْها. وهٰذِهِ ٱلمَعْلوماتُ تُسَجَّلُ عَلى شَكْلِ خُطوطٍ بَيانِيَّةٍ. ويُرينا ٱلشَّكْلُ تَسْجيلًا بَيانِيًّا لِهٰذِهِ ٱلخُطوطِ لِلشَّمْسِ (أ) عِنْدَما تَكونُ نَشِطَةَ ٱلإِشْعاعِ و (ب) عِنْدَما تَكونُ خافِتَةَ ٱلنَّشاطِ.

إلى اليسار

تَصْميمٌ مُبَسَّطٌ لِلتِّلِسْكوبِ ٱلرّادِيِّ. تُلْتَقَطُ ٱلإِشاراتُ ٱلرّادِيَةُ بِواسِطَةِ ٱلعاكِسِ وتُوَجَّهُ إلى ٱلهَوائِيِّ ٱلدَّوّارِ وهٰذا يَجْمَعُها بِدَوْرِهِ ويُرْسِلُها إلى ٱلْمُسْتَقْبِلِ.

إلى اسفل

وُلِدَ ٱلسِّيرِ برنارْد لُوفيل عامَ ١٩١٣. دَرَسَ ٱلفيزْياءَ في جامِعَةِ بريسْتول وعَمِلَ مُحاضِرًا في جامِعَةِ مانْشِسْتَر. وتَعودُ إِلَيْهِ فِكْرَةُ إِنْشاءِ ٱلتِّلِسْكوبِ ٱلرّادِيِّ في جُودْرِل بانْك. وتَمَّ ٱلتَّنْفيذُ بِجُهودِهِ وقَدْ أَصْبَحَ مُديرًا لِهٰذا ٱلمَرْصَدِ عامَ ١٩٥١.

برنارْد لُوفيل

عِلْمُ ٱلفَلَكِ ٱلرّادِيِّ (ٱلإِشْعاعِيِّ)

هٰذا ٱلصَّوْتُ ٱلَّذي تَسْمَعُهُ بِواسِطَةِ جِهازِ ٱلرّادْيو قَدْ حَمَلَتْهُ إِلَيْكَ أَمْواجُ ٱلرّادْيو عَبْرَ ٱلأَثيرِ مِنْ مَحَطّاتِ ٱلبَثِّ ٱلإِذاعِيِّ ٱلَّتي قَدْ يَبْعُدُ عَنْكَ بَعْضُها آلافَ ٱلكيلومِتْراتِ. وتَلْتَقِطُ ٱلتِّلِسْكوباتُ ٱلرّادِيَّةُ أَمْواجًا رادِيَّةً مِنْ نُجومٍ في أَنْحاءِ ٱلكَوْنِ ٱلمُتَرامِيَةِ ٱلأَطْرافِ قَدْ يَسْتَغْرِقُ ٱنْتِقالُها مِنْ مَصادِرِها إلى ٱلأَرْضِ مَلايينَ ٱلسِّنينِ قَبْلَ أَنْ يَلْتَقِطَها ٱلتِّلِسْكوبُ.

وقَدْ تَمَّ ٱكْتِشافُ هٰذِهِ ٱلأَمْواجِ عَرَضًا بِواسِطَةِ مُهَنْدِسِ ٱللاسِلْكِي كارْل جَنْسكي ٱلَّذي لاحَظَ أَنَّ جِهازَهُ ٱللاسِلْكِيَّ يَسْتَقْبِلُ إِشاراتٍ نَجْمِيَّةً رادِيَّةً مُعَيَّنَةً حينَ يُوَجَّهُ هَوائِيُّ ٱلجِهازِ ٱلمُتَحَرِّكُ نَحْوَ ٱلمَجَرَّةِ (دَرْبِ ٱلتَّبّانَةِ).

وتُقامُ مُعْظَمُ هٰذِهِ ٱلمَراصِدِ ٱلرّادِيَةِ في أَماكِنَ مُنْعَزِلَةٍ حَيْثُ لا يَتَشَوَّشُ ٱسْتِقْبالُها بِٱلأَمْواجِ ٱلرّادِيَةِ ٱلأَرْضِيَّةِ. وتُصْنَعُ بَعْضُ ٱلتِّلِسْكوباتِ ٱلرّادِيَةِ مِنْ صَفائِحَ مَعْدِنِيَّةٍ مُتَّصِلَةٍ عَلى شَكْلِ صَحْنٍ مُقَعَّرٍ يُسَمّى **ٱلعاكِس** يَرْتَفِعُ مِنْ وَسَطِهِ عَمودُ **ٱلهَوائِيّ**. وٱلعاكِسُ وهَوائِيُّهُ مَحْمولانِ عَلى هَيْكَلٍ دَوّارٍ يُمْكِنُ تَحْريكُهُ في جَميعِ ٱلاتِّجاهاتِ، والتِّلِسْكوبُ ٱلرّادِيُّ ٱلشَّهيرُ في جُودْرِل بانْك بِمانْشِسْتَر (إنكلترا) مُصَمَّمٌ عَلى هٰذا ٱلنَّمَطِ.

ويَعْمَلُ ٱلعاكِسُ بِصَفائِحِهِ ٱلصَّقيلَةِ عَلى عَكْسِ ٱلأَمْواجِ ٱلرّادِيَةِ ٱلَّتي يَلْتَقِطُها مِنَ ٱلجَوِّ نَحْوَ ٱلهَوائِيِّ ٱلمَرْكَزِيِّ في وَسَطِهِ. ويَقومُ هٰذا ٱلهَوائِيُّ، ٱلمُؤَلَّفُ مِنْ شَبَكٍ سِلْكِيٍّ وٱلَّذي يَدورُ مُسْتَقِلًّا عَنِ ٱلصَّحْنِ ٱلعاكِسِ، بِتَوْجيهِ ٱلأَمْواجِ ٱلرّادِيَةِ ٱلمُلْتَقَطَةِ إلى **ٱلمُسْتَقْبِلِ** وهٰذا يُحَوِّلُها بِدَوْرِهِ إلى نَمَطٍ مُعَيَّنٍ مِنَ ٱلصُّوَرِ ٱلخَطِّيَّةِ ٱلبَيانِيَّةِ كَٱلَّتي تَراها في ٱلشَّكْلِ.

ويَخْتَصُّ **عِلْمُ ٱلفَلَكِ ٱلرّادِيِّ** بِدِراسَةِ أَنْماطِ هٰذِهِ ٱلخُطوطِ ٱلنّاتِجَةِ عَنِ ٱلأَمْواجِ ٱلرّادِيَةِ. ويَسْتَعينُ ٱلفَلَكِيُّ بِأَدَواتٍ مُتَعَدِّدَةٍ لِتُساعِدَهُ في فَهْمِ مَدْلولاتِ هٰذِهِ ٱلخُطوطِ، ومِنْها يَعْرِفُ حَقائِقَ كَثيرَةً عَنِ ٱلنَّجْمِ ٱلمَرْصودِ مِنْ حَيْثُ شِدَّةُ حَرارَتِهِ وسُرْعَتُهُ وطَبيعَةُ تَكْوينِهِ.

إلى اليمين

تِلِسكوبُ جودرِل بانك أحَدُ أكبَرِ التِّلِسكوباتِ الرّاديَّةِ في العالَمِ. قُطْرُ صَحنِهِ ٧٤ مترًا ويُمكِنُ تَدويرُهُ لاتِّخاذِ الزّاويَةِ المُناسِبَةِ. ويُمكِنُ كَذٰلِكَ تَحريكُ صَفائِحِ الصَّحنِ العاكِسِ لِلحُصولِ عَلى تَجميعٍ أدَقَّ لِلأمواجِ الرّاديَّةِ المُستَقبَلَةِ.

إلى اليسار

أُنشوطَةُ الدَّجاجَةِ هِيَ بَقايا انفِجارِ نَجمٍ مُتَجَدِّدٍ أعظَمَ (سوبَرنوفا) يُعتَقَدُ أنَّهُ حَدَثَ قَبلَ ٦٠ ألفَ سَنَةٍ. وهِيَ مَصدَرٌ قَوِيٌّ لِلأمواجِ الرّاديَّةِ ولِلأشِعَّةِ السّينيَّةِ.

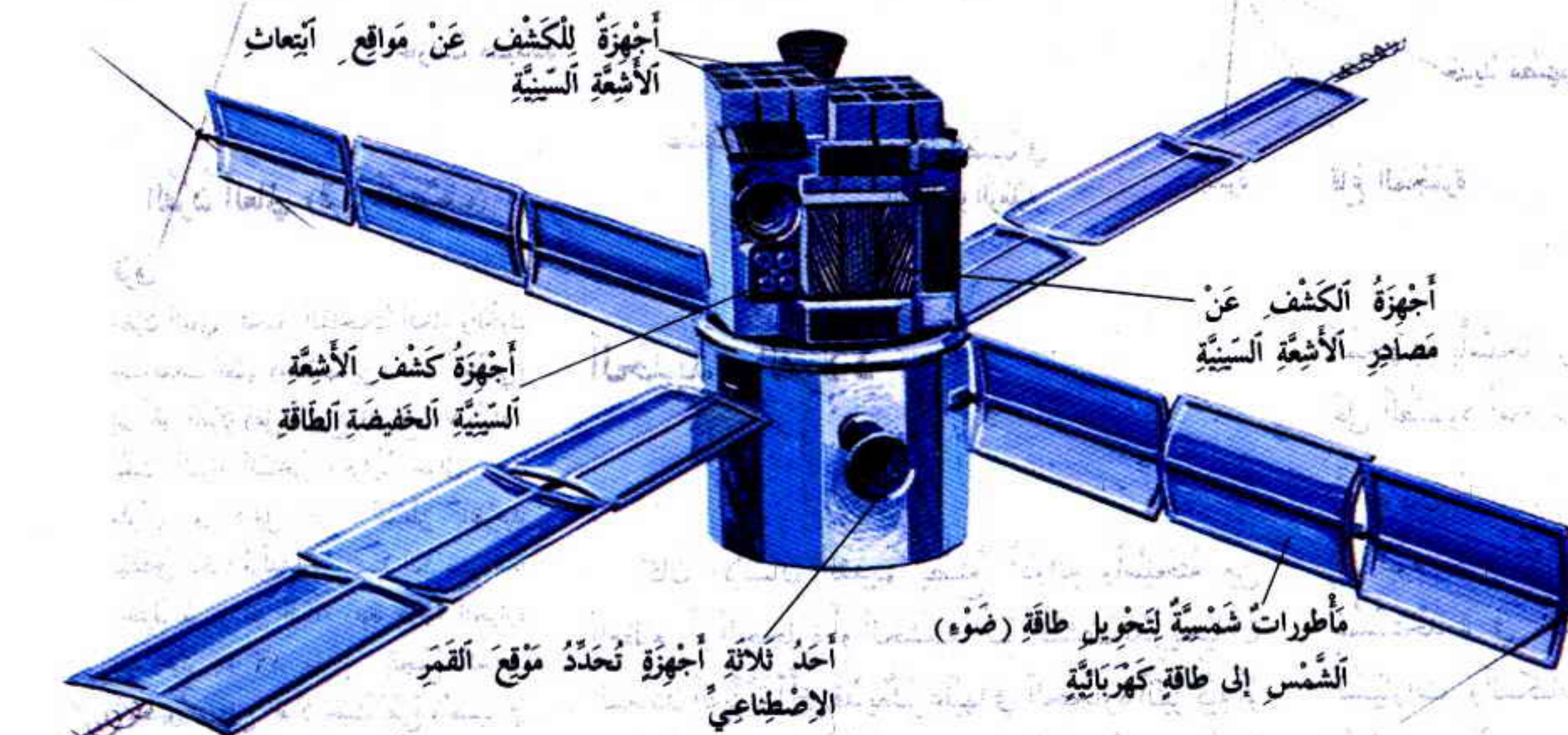
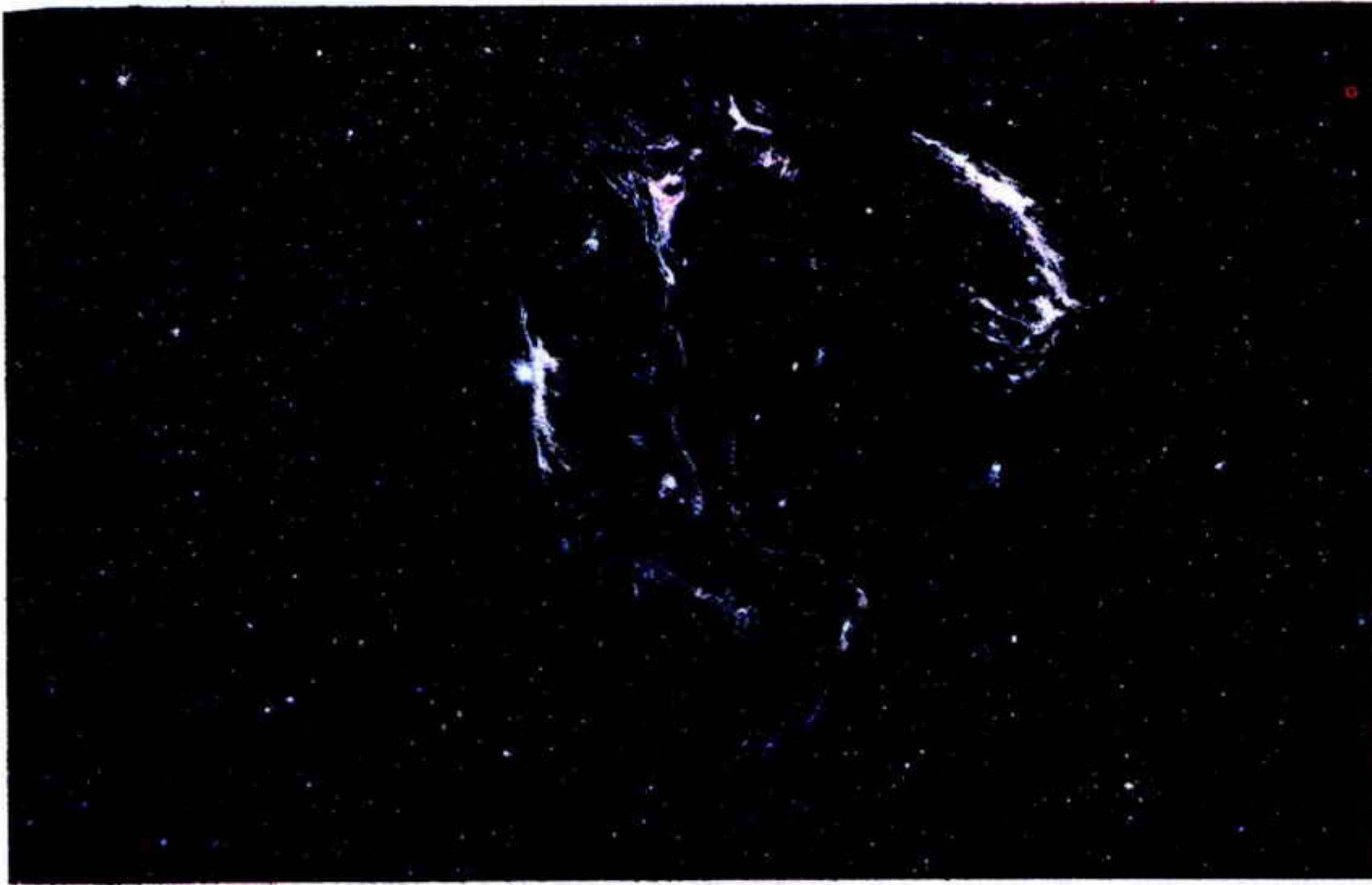
أجهِزَةٌ لِلكَشفِ عَن مَواقِعِ انبِعاثِ الأشِعَّةِ السّينيَّةِ

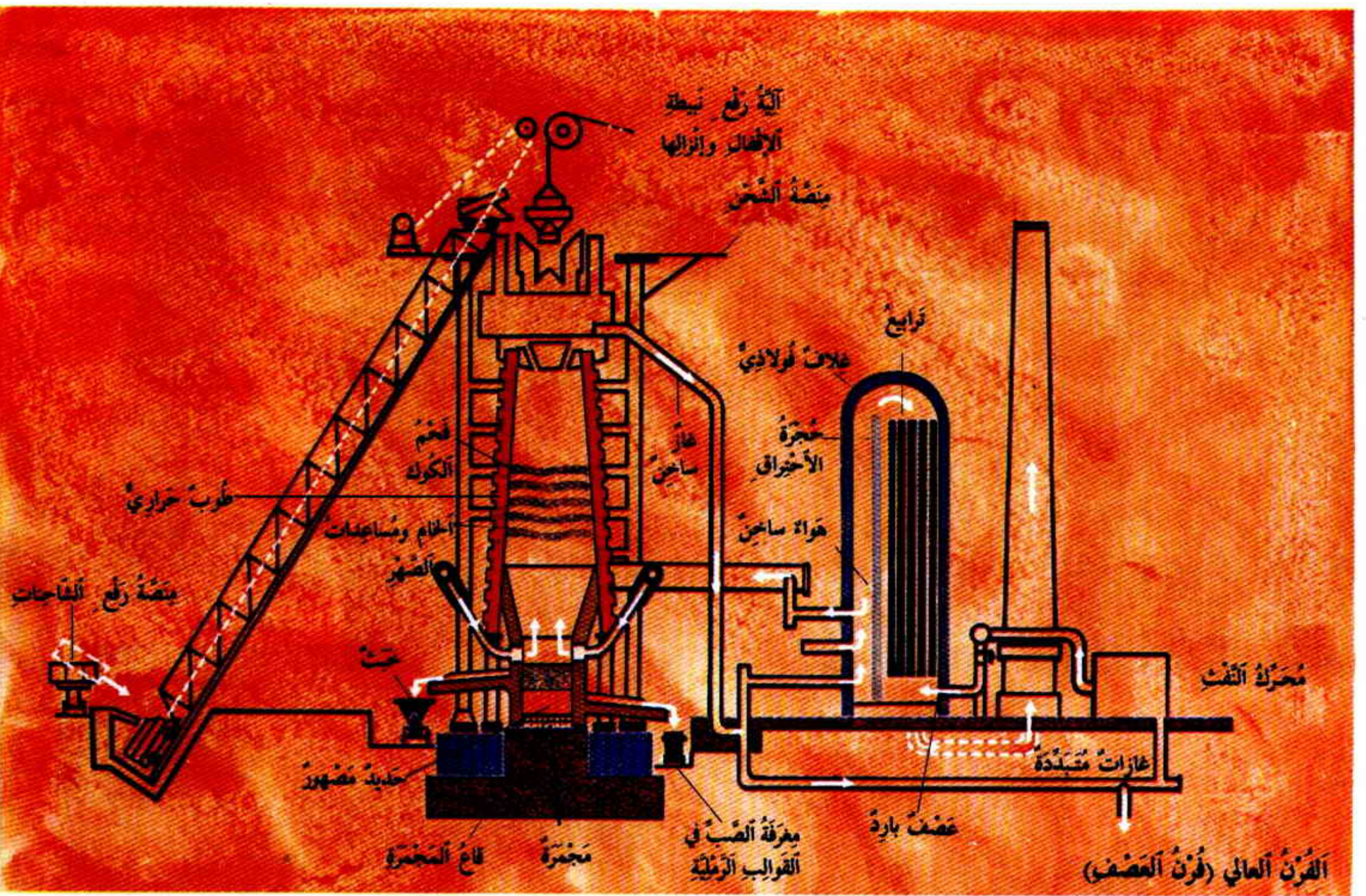
أجهِزَةُ الكَشفِ عَن مَصادِرِ الأشِعَّةِ السّينيَّةِ

أجهِزَةُ كَشفِ الأشِعَّةِ السّينيَّةِ الخَفيفَةِ الطّاقَةِ

مأطوراتٌ شَمسِيَّةٌ لِتَحويلِ طاقَةِ (ضَوءِ) الشَّمسِ إلى طاقَةٍ كَهرَبائِيَّةٍ

أحَدُ ثَلاثَةِ أجهِزَةٍ تُحَدِّدُ مَوقِعَ القَمَرِ الاصطِناعِيِّ

إلى اليسار

تابعٌ (قَمَرٌ) صِناعيٌّ لِلكَشفِ عَنِ الأشِعَّةِ السّينيَّةِ في الفَضاءِ. إنَّ بَعضَ النُّجومِ والكَواكِبِ تَبتَعِثُ إشعاعاتٍ سينيَّةً (أشِعَّةَ إكس) بالإضافَةِ إلى الأمواجِ الرّاديَّةِ. والإشعاعاتُ السّينيَّةُ شَبيهَةٌ بالإشعاعاتِ الرّاديَّةِ ولٰكِنَّها أشَدُّ قُوَّةً وحِدَّةً. وهِيَ عاجِزَةٌ عَن اختِراقِ جَوِّ الأرضِ، ويُمكِنُ كَشفُها بالأقمارِ الصِّناعيَّةِ الّتي تَدورُ حَولَ الأرضِ.

ويَبتَعِثُ الكَثيرُ مِنَ النُّجومِ، ومِن بَينِها الشَّمسُ، أمواجًا راديَّةً، والكَثيرُ مِن هٰذِهِ الإشاراتِ الرّاديَّةِ يَصعُبُ الكَشفُ عَنهُ أو حَتّى مُلاحَظَتُهُ. لٰكِن هُنالِكَ بَعضُ **النّابِضاتِ (البِلسارات) وشِبهِ النَّجمِيّاتِ (الكوازارات)** مِنَ الأجرامِ الرّاديَّةِ الّتي تَبتَعِثُ إشاراتٍ قَويَّةً مُنتَظَمَةَ التَّرَدُّدِ. وقَد جَرى اكتِشافُ النّابِضاتِ أوَّلَ مَرَّةٍ عامَ ١٩٦٧ وعُرِفَ أنَّها نُجومٌ صَغيرَةٌ تَدورُ حَولَ نَفسِها بِسُرعَةٍ فائِقَةٍ (بَعضُها في أقَلَّ مِن دَقيقَةٍ) وتُرسِلُ إشعاعاتٍ راديَّةً قَويَّةً، في فَتَراتٍ دَقيقَةِ الانتِظامِ. ويَعتَقِدُ العُلَماءُ أنَّ هٰذِهِ النّابِضاتِ هِيَ نُجومٌ في دَورِ الاحتِضارِ، ويُخَصِّصونَ إحداها، وهِيَ نابِضَةٌ قُطرُها حَوالى ٣٠ كيلومترًا وتَدورُ عَلى نَفسِها مَرَّةً في جُزءٍ مِن ثَلاثِمِائَةِ جُزءٍ مِنَ الثّانِيَةِ، بِأنَّها بَقايا نَجمٍ انفَجَرَ عامَ ١٠٥٤ مُكَوِّنًا سَديمَ السَّرَطانِ.

ولا يُعرَفُ عَنِ الكوازاراتِ إلّا القَليلُ القَليلُ. ويُعتَقَدُ أنَّها أجرامٌ شِبهُ نَجمِيَّةٍ عَلى مَسافاتٍ هائِلَةِ البُعدِ عَنّا. والظّاهِرُ أنَّ إشعاعاتِها الرّاديَّةَ عَلى دَرَجَةٍ فائِقَةٍ مِنَ الحِدَّةِ لِأنَّها تَصِلُنا بَعدَ قَطعِ المَسافاتِ الشّاسِعَةِ عَبرَ الفَضاءِ بِشِدَّةٍ يَسهُلُ الكَشفُ عَنها.

فوقُ

الفُرْنُ العالي. تحميلُ الشاحناتُ الخامَ والكوك ومُساعِداتِ الصَّهْرِ (مُعْظَمُها مِنَ الحَجَرِ الكِلْسِيِّ) إلى أَعْلى الفُرْنِ (عَلى ٱرْتِفاعٍ قَدْ يَبْلُغُ ٧٠ مِتْرًا). يُنْفَثُ الهواءُ السّاخِنُ (حَرارَتُهُ حوالى ٨٠٠ْ مِئَوِيَّة) إلى داخِلِ الفُرْنِ المُبَطَّنِ بالقِرْميدِ فَيَشْتَعِلُ الكوكُ مُوَلِّدًا أوَّلَ أُكسيدِ الكَرْبونِ وهذا يَخْتَزِلُ مَزيدًا مِنَ الخامِ رافِعًا دَرَجَةَ الحَرارَةِ إلى حَوالى ١٦٠٠ْ مِئَوِيَّة. يَتَجَمَّعُ الحَديدُ المَصْهورُ في قاعِ الفُرْنِ حَيْثُ يُفْرَغُ وَيُصَبُّ في قوالِبَ رَمْلِيَّةٍ لتحضيرِ تَماسيحِ الحَديدِ (الحَديدِ الغُفْلِ)، بَيْنَما يَطْفو الخَبَثُ عَلى سَطْحِ الحَديدِ المَصْهورِ ويُجْمَعُ مِنْ مُسْتَوًى مُناسِبٍ.

بِسِمَر

هِنْري بِسيمر (١٨١٣ – ١٨٩٨) طَوَّرَ الطَّريقَةَ المَعْروفَةَ بٱسْمِهِ لتحضيرِ الفولاذِ مِنَ الحَديدِ. وكانَتْ كُراتُ الحَديدِ المَصْنوعَةُ مِنْ حَديدِ الصَّبِّ أَوْهَنَ مِنْ أَنْ تُسْتَخْدَمَ في المَدافِعِ المُخَدَّدَةِ المَواسيرِ.

الحَديدُ والفُولاذُ

كانَ الإنْسانُ القَديمُ يَصْنَعُ أَدَواتِهِ وأَسْلِحَتَهُ مِنَ العِظامِ أَوِ الحِجارَةِ أَوِ الخَشَبِ. ثُمَّ ٱكْتَشَفَ تَدْريجيًّا أَنَّ المَعادِنَ الفِلِزِّيَّةَ الَّتي قَدْ يَعْثُرُ عَلَيْها في الحِجارَةِ النَّيْزَكِيَّةِ أَوْ في مُخَلَّفاتِ مَوْقِدٍ أَكْثَرُ صَلاحِيَةً لِصُنْعِ أَدَواتٍ أَحَدَّ وأَمْتَنَ. وكانَ النُّحاسُ أَوَّلَ المَعادِنِ الفِلِزِّيَّةِ الَّتي حَصَلَ عَلَيْها الإنْسانُ بِكَمِّيّاتٍ تُذْكَرُ، لٰكِنَّهُ كانَ لَيِّنًا يَكادُ لا يَصْلُحُ إلّا حَيْثُ كانَ يوجَدُ مُمْتَزِجًا بِالقَصْديرِ مُكَوِّنًا **البرونْز**. وقدِ ٱسْتَخْدَمَ المِصْرِيّونَ القُدَماءُ البرونْزَ حَوالى عامِ ٣٥٠٠ ق. م. لِصُنْعِ الأَدَواتِ المُخْتَلِفَةِ والأَسْلِحَةِ، وكانَتْ تِلْكَ بِدايَةَ **العَصْرِ البرونْزِيِّ**.

وَقَدْ عُرِفَ الحَديدُ مُنْذُ ذٰلِكَ الوَقْتِ تَقْريبًا ولٰكِنَّ مَصْدَرَهُ الوَحيدَ في ذٰلِكَ العَصْرِ كانَ الحِجارَةَ النَّيْزَكِيَّةَ. ثُمَّ حَدَثَ أَنِ ٱكْتَشَفَ الإنْسانُ حَوالى عامِ ١٥٠٠ ق. م.، وفي مَكانٍ ما مِنَ القارَّةِ الآسْيَوِيَّةِ، أَنَّهُ بِتَحْميصِ بَعْضِ المَعادِنِ مَعَ الخَشَبِ يُمْكِنُهُ الحُصولُ بِنَفْسِهِ عَلى الحَديدِ. وكانَ الحِثِّيّونَ أَوَّلَ مَنْ جَهَّزَ جَيْشًا بِأَسْلِحَةٍ حَديدِيَّةٍ سَرْعانَ ما ٱنْتَصَروا بِها عَلى الجُيوشِ الأُخْرى المُجَهَّزَةِ بِأَسْلِحَةٍ برونْزِيَّةٍ. فالسَّيْفُ البرونْزِيُّ لا يَقْوى عَلى الصُّمودِ أَمامَ سَيْفِ الحَديدِ الأَشَدِّ مَتانَةً وصَلابَةً.

وكانَ ذٰلِكَ فَجْرَ **عَصْرِ الحَديدِ** الَّذي لا يَزالُ مُسْتَمِرًّا إلى اليَوْمِ. فما زالَ الحَديدُ والفولاذُ أَهَمَّ المَعادِنِ الفِلِزِّيَّةِ المُسْتَخْدَمَةِ في البِناءِ والإنْشاءاتِ. كَما تُصْنَعُ مُعْظَمُ السَّيّاراتِ والمَكَناتِ الصِّناعِيَّةِ والزِّراعِيَّةِ والأَسْلِحَةِ بِمُخْتَلِفِ أَنْواعِها مِنَ الحَديدِ والفولاذِ حَتّى إنَّ الاسْتِهْلاكَ السَّنَوِيَّ العالَمِيَّ مِنَ الحَديدِ يَفوقُ ٣٠٠ مِلْيونِ طُنٍّ. وفي الواقِعِ يَصْعُبُ تَصَوُّرُ حَياتِنا الحاضِرَةِ وإمْكاناتِها الحَضارِيَّةِ بِدونِ الحَديدِ.

وأَهَمُّ مَصادِرِ الحَديدِ حالِيًّا هِيَ **خاماتُهُ مِنَ الهِماتيت** (أُكسيدِ الحَديدِ الأَحْمَرِ) **والمَغْنِتيت** (أُكسيدِ الحَديدِ المِغْنَطيسِيِّ) الَّتي تَتَوافَرُ بِكَمِّيّاتٍ كَبيرَةٍ يَسْهُلُ تَعْدينُها في مَناطِقَ كَثيرَةٍ مِنَ العالَمِ. وتُحْرَقُ هٰذِهِ الخاماتُ مَعَ الكوكِ والحَجَرِ الكِلْسِيِّ في **الفُرْنِ العالي** فَتُخْتَزَلُ أَكاسيدُ الحَديدِ ويُصَبُّ الحَديدُ المَصْهورُ في قَوالِبَ لِيَبْرُدَ، ويُعْرَفُ في هٰذِهِ الحالِ **بِحَديدِ الزَّهْرِ أَوْ حَديدِ الصَّبِّ أَوْ تَماسيحِ الحَديدِ**.

ويَحْتاجُ إعْدادُ مِئَةِ طُنٍّ مِنْ هٰذا الحَديدِ إلى ١٩٠ طُنًّا مِنْ خامِ الحَديدِ و ١٠٠ طُنٍّ مِنْ فَحْمِ الكوكِ و ٥٠ طُنًّا

فُرْنُ ٱلْمَجْمَرَةِ ٱلْمَكْشُوفَةِ

مِنَ ٱلْحَجَرِ ٱلْكِلْسِيِّ. وبِٱلإِضافَةِ إلى ٱلْحَديدِ ٱلنّاتِجِ نَحْصُلُ عَلى ٥٠ طُنًّا مِنَ **ٱلْخَبَثِ ٱلْمَعْدِنِيِّ** تُسْتَخْدَمُ في صِناعَةِ ٱلإِسْمَنْتِ وٱلْخَرَسانَةِ.

وحَديدُ ٱلزَّهْرِ هُوَ حَديدٌ غُفْلٌ غَيْرُ نَقِيٍّ بِهِ مِنْ ٣ إلى ٤ في ٱلْمِئَةِ مِنَ ٱلْكَرْبونِ تَجْعَلُهُ قَصِفًا نَوْعًا. ولِلْحُصولِ عَلى **ٱلْفولاذِ** ٱلَّذي هُوَ أَهَمُّ أَشْكالِ ٱلْحَديدِ ٱسْتِخْدامًا ونَفْعًا تُخَفَّفُ نِسْبَةُ ٱلشَّوائِبِ ٱلْكَرْبونِيَّةِ لِتُصْبِحَ مِنْ ٢, . إلى ٥ ، ١ في ٱلْمِئَةِ فَقَطْ. وٱلطَّريقَةُ ٱلْمُسْتَخْدَمَةُ لِذٰلِكَ كانَ ٱكْتَشَفَها ٱلْمُهَنْدِسُ ٱلإِنْكليزِيُّ هِنري بَسيمَر عامَ ١٨٥٦ ، وقِوامُها نَفْثُ عَصَفاتٍ هَوائِيَّةٍ عَبْرَ ٱلْحَديدِ ٱلْمَصْهورِ في مُحَوِّلٍ خاصٍّ لِتَحْويلِ مُعْظَمِ ٱلشَّوائِبِ ٱلْكَرْبونِيَّةِ إلى غازِ ثاني أُكْسيدِ ٱلْكَرْبونِ بِٱتِّحادِها مَعَ أُكْسِجينِ ٱلْهَواءِ. وفي صِناعَةِ ٱلْفولاذِ ٱلْعَصْرِيَّةِ ٱسْتُبْدِلَ بِمُحَوِّلِ بَسيمَر أُسْلوبُ ٱلْمَجْمَرَةِ ٱلْمَكْشوفَةِ.

وٱلْفولاذُ أَشَدُّ مَتانَةً مِنَ ٱلْحَديدِ وأَسْهَلُ تَصْنيعًا. وبِإِضافَةِ بَعْضِ ٱلْعَناصِرِ ٱلأُخْرى إِلَيْهِ يَكْتَسِبُ مَتانَةً أَوْ صُمودًا ضِدَّ ٱلصَّدَإِ أَوْ ضِدَّ ٱلْحَرارَةِ.

وٱلْفولاذُ ٱلَّذي يَحْوي ١٣ ٪ مِنْ وَزْنِهِ مَنْغَنيزًا يَتَمَيَّزُ بِٱلصَّلادَةِ ٱلْعالِيَةِ. أَمّا ٱلْفولاذُ ٱلَّذي لا يَصْدَأُ فَيَنْتُجُ مِنْ إِضافَةِ عُنْصُرَيِ ٱلنّيكِلِ وٱلْكُرومِ إِلَيْهِ.

إلى ٱلْيَمينِ

فُرْنُ ٱلْمَجْمَرَةِ ٱلْمَكْشوفَةِ لِصُنْعِ ٱلْفولاذِ. يُسَخَّنُ ٱلْهَواءُ وٱلْغازُ بِإِمْرارِهِما فَوْقَ ٱلْقِرْميدِ ٱلسّاخِنِ فَيَلْتَهِبُ ٱلْغازُ فَوْقَ ٱلْحَديدِ ٱلْغُفْلِ (حَديدِ ٱلزَّهْرِ) ويُسْتَخْدَمُ ٱلْغازُ ٱلْمُنْصَرِفُ لإِحْماءِ ٱلْقِرْميدِ لِيُسَخِّنَ بِدَوْرِهِ مَزيجَ ٱلْهَواءِ وٱلْغازِ ٱلدّاخِلَ. وٱلْفُرْنُ مُبَطَّنٌ بِآجُرٍّ خاصٍّ يَمْتَصُّ بَعْضَ ٱلشَّوائِبِ ٱلْكِبْريتِيَّةِ وٱلْفُسْفورِيَّةِ مِنَ ٱلْحَديدِ. ثُمَّ يُفَرَّغُ ٱلْفولاذُ بَيْنَما يُجْمَعُ ٱلْخَبَثُ ٱلطّافي ٱلَّذي يُسْتَخْدَمُ سَمادًا لاحْتِوائِهِ عَلى ٱلْفُسْفاتِ.

أَقْصى ٱلْيَمينِ (إلى ٱلأَسْفَلِ)

بَعْضُ ٱلْمَوادِّ ٱلْمَصْنوعَةِ مِنَ ٱلْفولاذِ ٱلْبَسيطِ: مِسْمارٌ، نَعْلُ فَرَسٍ وكُبَّةٌ مِنْ صوفِ ٱلْفولاذِ.

إلى ٱلْيَمينِ (في ٱلْوَسَطِ)

هٰذِهِ ٱلْمَوادُّ مَصْنوعَةٌ مِنْ سَبائِكِ ٱلْفولاذِ. يُسْتَخْدَمُ ٱلْفولاذُ ٱلْمَنْغَنيزِيُّ في صُنْعِ ٱلْخَزَناتِ ٱلْحَديدِيَّةِ، ويُسْتَعْمَلُ فولاذُ ٱلْكُرومِ وٱلْفانادْيومِ في ٱلسَّيّاراتِ، وٱلْفولاذُ ٱلَّذي لا يَصْدَأُ تُصْنَعُ مِنْهُ أَدَواتُ ٱلْمائِدَةِ ٱلْمَعْدِنِيَّةُ. ويُسْتَخْدَمُ فولاذُ ٱلْكُرومِ وٱلتَّنْغَسْتِنِ لِصُنْعِ ٱلأَزاميلِ وغَيْرِها مِنَ ٱلأَدَواتِ ٱلْقاطِعَةِ، ومِنْ فولاذِ ٱلتَّنْغَسْتِنِ وٱلسِّليكونِ وٱلْكوبَلْتِ بِأَنْواعِهِ ٱلْمُخْتَلِفَةِ تُصْنَعُ ٱلْمِغْنَطيساتُ.

إلى أَسْفَلَ

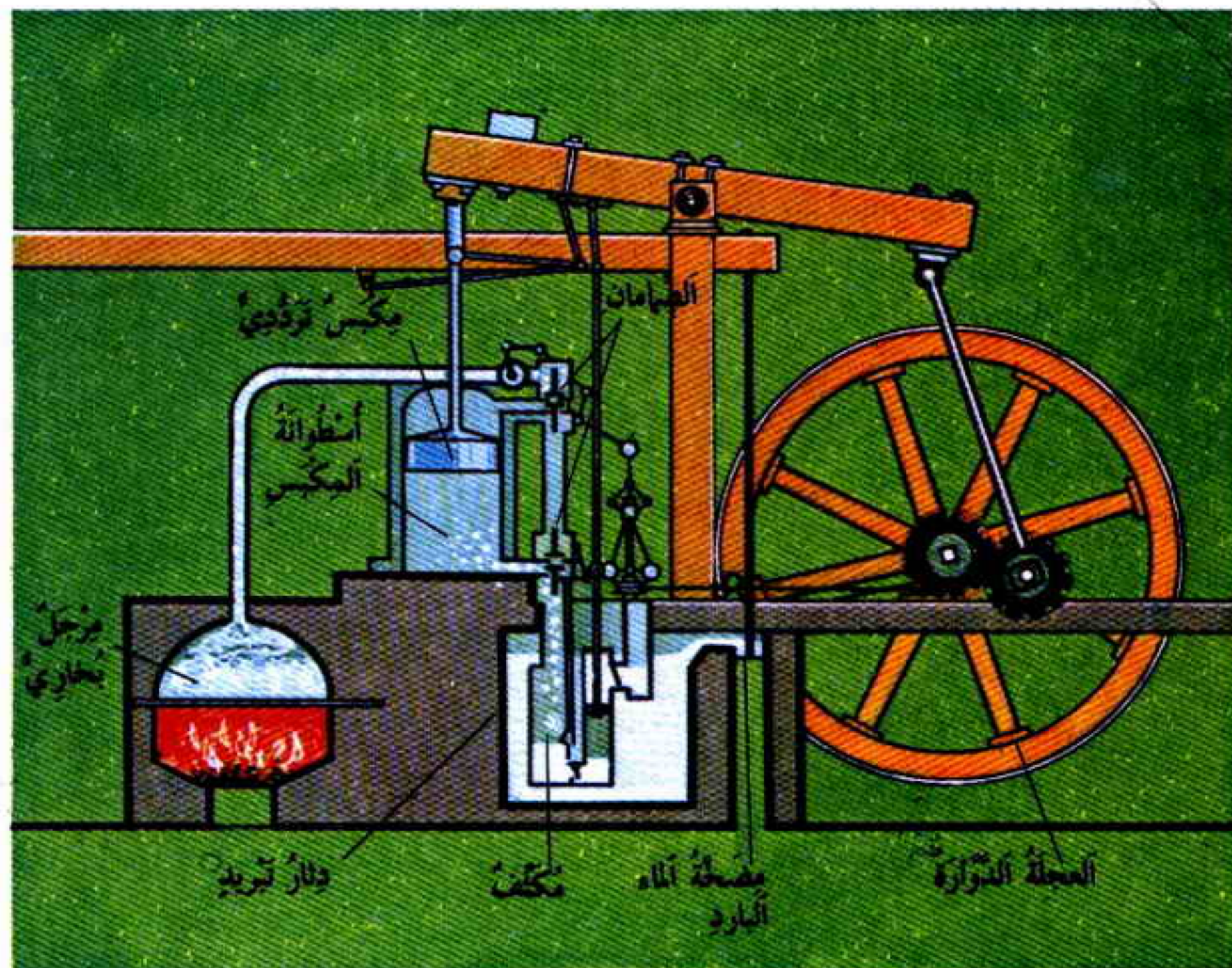
تَجْرِبَةٌ بَسيطَةٌ لاخْتِبارِ ٱلسُّرْعَةِ ٱلَّتي يَصْدَأُ بِها ٱلْحَديدُ أَوِ ٱلْفولاذُ ٱلْعادِيُّ في ٱلْهَواءِ ٱلرَّطْبِ: ضَعْ قَليلًا مِنْ صوفِ ٱلْفولاذِ في كَأْسٍ وٱقْلِبْها رَأْسًا عَلى عَقِبٍ في طَبَقٍ مَلِيءٍ بِٱلْماءِ. سَتُلاحِظُ بَعْدَ يَوْمٍ أَوْ يَوْمَيْنِ أَنَّ ٱلصّوفَ ٱلْفولاذِيَّ قَدْ صَدِئَ فَتَحَوَّلَ حَديدُهُ ٱلرَّمادِيُّ إلى أُكْسيدٍ حَديدِيٍّ أَحْمَرَ. وسَتُلاحِظُ أَيْضًا أَنَّ مُسْتَوى ٱلْماءِ في ٱلْكَأْسِ قَدِ ٱرْتَفَعَ لِيَحُلَّ مَكانَ أُكْسِجينِ ٱلْهَواءِ ٱلْمُسْتَهْلَكِ في أَكْسَدَةِ ٱلْحَديدِ. أَبْقِ بَعْضَ ٱلصّوفِ ٱلْفولاذِيِّ في عُلْبَةٍ جافَّةٍ مُحْكَمَةِ ٱلسَّدِّ لِلْمُقارَنَةِ.

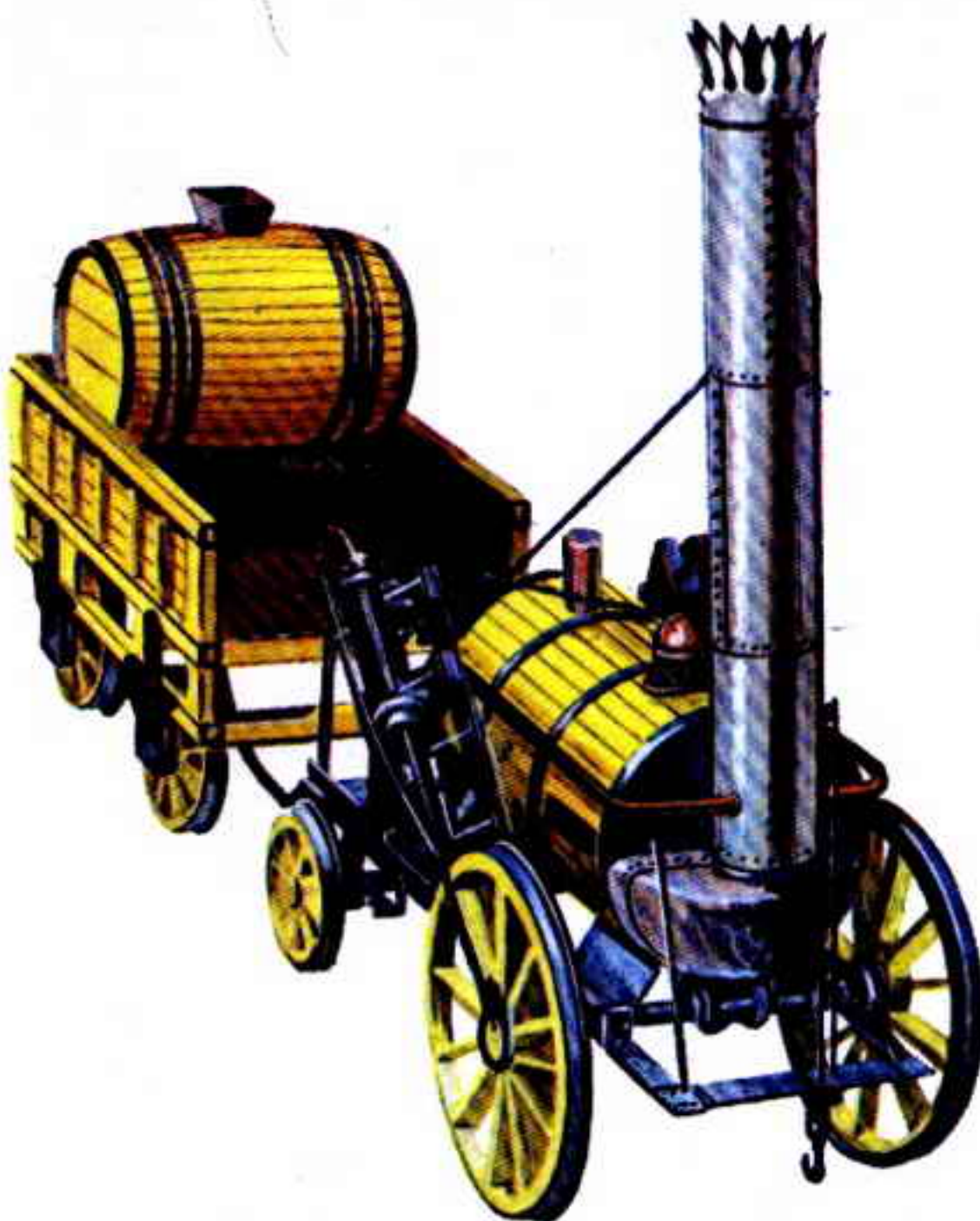
اَلمُحَرِّكاتُ وإدارَةُ اَلآلاتِ

كانَتْ حَرَكَةُ اَلنَّقْلِ قَبْلَ اَخْتِراعِ اَلمُحَرِّكاتِ تَعْتَمِدُ غالبًا عَلى اَلخَيْلِ والإبلِ وحَيَواناتِ اَلجَرِّ بَرًّا وعَلى اَلقَوارِبِ والسُّفُنِ اَلشِّراعِيَّةِ بَحْرًا. وبَدَأَتِ اَلحالُ تَتَغَيَّرُ تَدْريجيًّا مُنْذُ اَخْتَرَعَ جيمْس واط أَوَّلَ آلَةٍ بُخارِيَّةٍ فَعّالَةٍ.

وُلِدَ جيمْس واط عامَ ١٧٣٦ في جرينُوك بِسْكُوتْلَنْدا. وفي اَلسّابِعَةَ عَشْرَةَ من عُمْرِهِ أَلَمَّ بصِناعَةِ أَدَواتِ اَلرَّسْمِ فَعُيِّنَ لِلْقِيامِ بوَظيفَةِ صانِعِ آلاتٍ في جامِعَةِ غْلاسْكُو. وكانَ مِنْ بَيْنِ اَلأَشْغالِ اَلَّتي طُلِبَتْ مِنْهُ إصْلاحُ نَموذَجٍ لآلَةِ نيُوكُومِن اَلبُخارِيَّةِ. وكانَتْ هٰذِهِ اَلآلَةُ عَلى قِلَّةِ كِفايَتِها تُسْتَخْدَمُ لِضَخِّ اَلماءِ اَلمُتَسَرِّبِ إلى اَلمَناجِمِ.

وأَجْرى واط تَحْسيناتٍ عَلى تَصْميمِ نيُوكُومِن ثُمَّ اَسْتَبْدَلَ بِهِ تَصْميمًا آخَرَ مُخْتَلِفًا تَمامًا يَسْتَهْلِكُ ثُلْثَ كَمِّيَّةِ اَلوَقودِ فَقَطْ، وأَضافَ إلى مُحَرِّكِهِ مَجْموعَةً مِنَ اَلمَرافِقِ والمُسَنَّناتِ لِتَحْويلِ حَرَكَةِ اَلمِكْبَسِ إلى حَرَكَةٍ دَورانِيَّةٍ. وبِحُلولِ سَنَةِ ١٧٨٢ كانَ أَحَدُ مُحَرِّكاتِ واط يُشَغِّلُ أَكْثَرَ مِنْ ٤٠ مَكَنَةً في أَحَدِ اَلمَصانِعِ، وكانَ ذٰلِكَ فَجْرَ **اَلثَّوْرَةِ اَلصِّناعِيَّةِ** حَيْثُ اَبْتَدَأَتِ اَلمَكَناتُ تَقومُ مَقامَ اَلعُمّالِ في اَلصِّناعَةِ.

وكانَتِ اَلمُحَرِّكاتُ اَلبُخارِيَّةُ اَلأُولى ثابِتَةً في مَواقِعِها حَتّى جاءَتْ أَوَّلُ مُحاوَلَةٍ لاَسْتِخْدامِها في اَلنَّقْلِ عامَ ١٧٨٧ عِنْدَما بَنَى اَلأَميرِكِيُّ جوزيف فِتْش سَفينَةً بُخارِيَّةً صالِحَةً لِلإبْحارِ. وبحُلولِ عامِ ١٨٣٠ كانَتِ اَلسُّفُنُ اَلبُخارِيَّةُ تَمْخُرُ اَلأَطْلَنْطي ذَهابًا وإيابًا في رَحَلاتٍ مُنْتَظَمَةٍ. وعَلى اَلبَرِّ اَخْتَرَعَ جورج سْتيفِنْسُن اَلقاطِرَةَ اَلبُخارِيَّةَ عامَ ١٨١٤، وَبَدَأَ بِذٰلِكَ عَصْرُ اَلنَّقْلِ اَلبَرِّيِّ

فَوْقُ
آلَةُ واط اَلبُخارِيَّةُ. يَدْخُلُ اَلبُخارُ إلى اَلأُسْطُوانَةِ مِنَ اَلمِرْجَلِ عَبْرَ اَلصِّمامِ اَلعُلْوِيِّ ويَضْغَطُ اَلمِكْبَسَ إلى أَسْفَل. وفي نِهايَةِ اَلشَّوْطِ يُفْتَحُ اَلصِّمامُ اَلسُّفْلِيُّ فَيَدْفَعُ اَلبُخارُ اَلمِكْبَسَ إلى أَعْلى. وهٰذِهِ اَلحَرَكَةُ اَلتَّرَدُّدِيَّةُ لِلْمِكْبَسِ تَتَحَوَّلُ إلى حَرَكَةٍ دَوَرانِيَّةٍ بِواسِطَةِ نِظامٍ مِنَ اَلمَرافِقِ (أَذْرُعِ اَلتَّدْوير) والمُسَنَّناتِ (اَلتُّروس).

فَوْقُ
كانَ زَوْرَقُ جُون فِتْش اَلبُخارِيُّ اَلمِغْدافِيُّ أَوَّلَ تَطْبيقٍ عَمَلِيٍّ عَلى اَسْتِخْدامِ اَلآلَةِ اَلبُخارِيَّةِ في اَلنَّقْلِ اَلبَحْرِيِّ ولٰكِنَّهُ فَشِلَ تِجارِيًّا وماتَ فِتْش مَغْمورًا ومَجْهولًا.

إلى اَليَسار
قاطِرَةُ جورج سْتيفِنْسُن اَلبُخارِيَّةُ اَلمُسَمّاة اَلرُّوكيت (الصاروخ) رَبِحَتْ مُسابَقَةً عامَ ١٨٢٩ حينَ قَطَعَتْ مَسافَةَ ١٢ ميلًا (١٩,٢ كلم) في ٥٣ دَقيقَةً.

بِالسِّكَكِ الحَديدِيَّةِ. وكانَتْ مُتطلَّباتُ المُحَرِّكِ البُخارِيِّ الضَّخْمَةُ مِنَ الحَطَبِ أَوِ الفَحْمِ لِوَقْدِ النّارِ عَقَبَةً حَفَزَتِ الباحِثينَ عَلى التَّفْتيشِ عَنْ وَقودٍ أَخَفَّ ومُحَرِّكٍ يُدارُ بِهِ. وكانَ الجوابَ هُوَ المُحَرِّكُ البِنْزينِيُّ الدّاخِلِيُّ الاحْتِراقِ الَّذي كانَ الفَرَنْسِيُّ إتْيان لِينْوار أَوَّلَ مُخْتَرِعيهِ عامَ ١٨٦٠. لكِنَّ المُحَرِّكَ العَصْرِيَّ الَّذي نَسْتَخْدِمُهُ في سَيّاراتِنا يَعودُ تَصْميمُهُ الأَساسِيُّ إلى نِيقولاوُس أُوتو الَّذي صَنَعَ أَوَّلَ مُحَرِّكٍ رُباعِيِّ الأَشْواطِ عامَ ١٨٧٦، وما زالَتْ دَوْرَةُ الأَشْواطِ الأَرْبَعَةِ هٰذِهِ تُدْعى دَوْرَةَ أُوتو. ويُسْتَخْدَمُ في السَّيّاراتِ الحَديثَةِ مُحَرِّكاتٌ ذاتُ أَرْبَعِ أَوْ سِتِّ أَوْ ثَماني أُسْطُواناتٍ، وكُلَّما زادَ عَدَدُ الأُسْطُواناتِ ازْدادَتْ سَلاسَةُ سَيْرِ المُحَرِّكِ. وقَدْ تَمَّ صُنْعُ سَيّاراتِ البِنْزينِ العَمَلِيَّةِ الأُولى في أَلْمانيا عامَ ١٨٨٥ عَلى أَيْدي غُوتْلِيب دِيمْلَر وكارْل بِنْز.

وفي عامِ ١٨٩٢ أَدْخَلَ رُودُلْف دِيزِل نَمَطًا مُخْتَلِفًا مِنْ مُحَرِّكاتِ الاحْتِراقِ الدّاخِلِيِّ يَسْتَخْدِمُ زَيْتَ الدِّيزِل كَوَقودٍ ويَسْتَغْني عَنْ شَمْعاتِ الإشْعالِ بِالشَّرَرِ إذْ يَحْصُلُ الإشْعالُ التَّفْجيرِيُّ بِذَرِّ الزَّيْتِ في أُسْطُوانَةٍ عالِيَةٍ ضَغْطِ الهَواءِ جِدًّا.

ويُسْتَخْدَمُ مُحَرِّكُ الدِّيزِل في تَسْييرِ الباصاتِ والسَّيّاراتِ والشّاحِناتِ وبَعْضِ القِطاراتِ والسُّفُنِ.

ومُحَرِّكُ الدِّيزِل ثُنائِيُّ الشَّوْطِ غالِبًا، مَثَلُهُ مَثَلُ مُحَرِّكاتِ البِنْزينِ الصَّغيرَةِ. وفي هٰذا النَّوْعِ مِنْ مُحَرِّكاتِ الاحْتِراقِ الدّاخِلِيِّ لَيْسَ هُناكَ صِماماتٌ، إذْ يَكْشِفُ المِكْبَسُ في أَثْناءِ صُعودِهِ وهُبوطِهِ فُتْحاتٍ في جِدارِ الأُسْطُوانَةِ تَقومُ مَقامَ الصِّماماتِ. وتَتَمَيَّزُ المُحَرِّكاتُ الثُّنائِيَّةُ الشَّوْطِ بِطَقْطَقَةٍ تُصاحِبُ كُلَّ شَوْطٍ، وتلاحَظُ هٰذِهِ الطَّقْطَقَةُ في مُعْظَمِ الدَّرّاجاتِ النّارِيَّةِ وبَعْضِ السَّيّاراتِ وجَزّازاتِ العُشْبِ الَّتي تُسَيِّرُها مِثْلُ هٰذِهِ المُحَرِّكاتِ.

فَوْقُ

دَوْرَةُ أُوتو. في الشَّوْطِ الأَوَّلِ يَهْبِطُ المِكْبَسُ ويُفْتَحُ صِمامُ الإدْخالِ فَيُسْحَبُ الهَواءُ ورَذاذُ البِنْزينِ إلى الأُسْطُوانَةِ. وفي الشَّوْطِ الثّاني يَرْتَفِعُ المِكْبَسُ فَيَضْغَطُ مَزيجَ الهَواءِ والوَقودِ، ثُمَّ تَقْدَحُ شَمْعَةُ الإشْعالِ فَيَتَفَجَّرُ المَزيجُ دافِعًا المِكْبَسَ إلى أَسْفَلَ في شَوْطِهِ الثّالِثِ. وفي الشَّوْطِ الرّابِعِ صُعودًا يَنْفَتِحُ صِمامُ الانْفِلاتِ وتُطْرَدُ الغازاتُ المُحْتَرِقَةُ وتَعودُ الدَّوْرَةُ تَكْرارًا.

إلى الأَسْفَلِ يَمينًا

لَيْسَتْ قاطِرَةُ الدِّيزِل سَلِسَةَ السَّيْرِ كَالقِطارِ الكَهْرَبائِيِّ ولكِنَّها أَقَلُّ تَكْلِفَةً إذْ لا حاجَةَ إلى خَطٍّ حَديدِيٍّ مُكَهْرَبٍ ولا إلى سِلْكِ تَغْذِيَةٍ عُلْوِيٍّ فَوْقَ السِّكَّةِ.

إلى أَسْفَلَ

في مُحَرِّكِ دِيزِل يُسَخَّنُ الهَواءُ قَبْلَ اسْتِقْبالِ الوَقودِ. ثُمَّ يُذَرُّ الوَقودُ إلى داخِلِ الأُسْطُوانَةِ فَيَشْتَعِلُ تِلْقائِيًّا في الهَواءِ السّاخِنِ. أَمّا في المُحَرِّكِ البِنْزينِيِّ فَيُشْعَلُ المَزيجُ بِشَراراتِ شَمْعَةِ الإشْعالِ ولا يَحْتَرِقُ المَزيجُ بِكامِلِهِ.

السَّيَّاراتُ

بَعْدَ أَنِ اخْتَرَعَ نيوكومِن آلَةً البُخارِيَّةَ عامَ ١٧١٢ جَرَتْ مُحاوَلاتٌ لاسْتِخْدامِ هٰذا الاخْتِراعِ بَديلًا عَنِ الحِصانِ في جَرِّ المَرْكَباتِ. لٰكِنَّ ذٰلِكَ لَمْ يَتَحَقَّقْ إِلَّا بَعْدَ أَنْ جاءَ مُحَرِّكُ واط البُخارِيُّ الأَعْلى كِفايَةً وفاعِلِيَّةً. وكانَتْ أَوَّلُ مَرْكَبَةٍ آلِيَّةِ الإدارَةِ مِنْ صُنْعِ الفَرَنْسِيِّ نقولا كونيو عامَ ١٧٦٩، ومُنْذُئِذٍ ظَهَرَتْ أَنْواعٌ مُتَعَدِّدَةٌ مِنَ المَرْكَباتِ المُسَيَّرَةِ بِمُحَرِّكاتٍ بُخارِيَّةٍ.

ولَمْ تَظْهَرِ الأَنْواعُ العَمَلِيَّةُ مِنْ هٰذِهِ المَرْكَباتِ «عَديمَةِ الخُيولِ» فِعْلًا إِلَّا عامَ ١٨٢٠. وكانَ المُهَنْدِسانِ توماس تِلْفورد وجون ماك آدَم قَدِ اسْتَحْدَثا أَساليبَ تَعْبيدِ الطُّرُقِ الجَيِّدَةِ لِعَرَباتِ الخَيْلِ، فَكانَتْ هٰذِهِ الطُّرُقُ مُلائِمَةً جِدًّا لِسَيْرِ المَرْكَباتِ البُخارِيَّةِ.

وكانَتِ المَرْكَباتُ الأُولى شَبيهَةً بِعَرَباتِ الخَيْلِ المُقْفَلَةِ وصارَتْ مِثْلَها تَحْمِلُ المُسافِرينَ والبَضائِعَ بِسُرْعاتٍ تُقارِبُ ٥٠ كيلومِتْرًا في السَّاعَةِ. لٰكِنَّ صِناعَةَ المَرْكَباتِ البُخارِيَّةِ شُلَّتْ في بريطانيا بِقانونِ مَرْكَباتِ الطُّرُقِ التَّعَسُّفِيِّ عامَ ١٨٦٥ الَّذي اشْتَرَطَ سَيْرَ شَخْصٍ يَحْمِلُ عَلَمًا أَحْمَرَ أَمامَ المَرْكَبَةِ وحَدَّدَ سُرْعَتَها القُصْوى بـ ٤ و ٦ كلم في السَّاعَةِ.

وفي القَرْنِ التَّاسِعَ عَشَرَ اتَّجَهَ المُصَمِّمونَ إلى تَطْويرِ مَرْكَباتٍ خَفيفَةٍ سَهْلَةِ المُناوَرَةِ، وكانَ ذٰلِكَ صَعْبًا بالنِّسْبَةِ إلى المَرْكَبَةِ البُخارِيَّةِ لِحاجَتِها إلى فُرْنٍ ومِرْجَلٍ وكَمِّيَّاتٍ كَبيرَةٍ مِنَ الفَحْمِ الحَجَرِيِّ الثَّقيلِ. وبِظُهورِ صِناعَةِ الزَّيْتِ وإِنْتاجِ الوُقودِ الخَفيفَةِ السَّائِلَةِ كالبِنْزينِ والكيروسينِ اسْتُبْدِلَ بِمُحَرِّكِ البُخارِ الخارِجِيِّ الاحْتِراقِ مُحَرِّكُ البِنْزينِ ذو الاحْتِراقِ الدَّاخِلِيِّ حَيْثُ يَتَفَجَّرُ بُخارُ الوَقودِ داخِلَ الأُسْطُوانَةِ.

وكانَ نَجاحُ المُحَرِّكِ البِنْزينِيِّ الَّذي صَمَّمَهُ إِتْيان لِينوار حافِزًا لِلْمُخْتَرِعِ الأَلْمانِيِّ نيقولاوس أوتو على تَطْويرِ المُحَرِّكِ الدَّاخِلِيِّ الاحْتِراقِ الرُّباعِيِّ الأَشْواطِ عامَ ١٨٧٦.

إلى أسفل

أَوَّلُ مَرْكَبَةٍ ناجِحَةٍ تُدارُ بِمُحَرِّكٍ بِنْزينِيٍّ صَمَّمَها سيغفريد ماركوس عام ١٨٧٤. لٰكِنَّها كانَتْ ثَقيلَةً وعَديمَةَ الرَّشاقَةِ فَلَمْ تَلْقَ نَجاحًا تِجارِيًّا.

إلى الأسفل (عموديًّا)

كانَتْ مَرْكَبَةُ بوليه (المِطْواعَة) أَوَّلَ عَرَبَةٍ تَبْرُمُ عَجَلاتُها مُسْتَقِلَّةً دونَ تَحَرُّكِ المِحْوَرِ كُلِّهِ، لِذا كانَتْ سَهْلَةَ التَّدْويرِ والمُناوَرَةِ. وكانَتْ تُسَيَّرُ بِمُحَرِّكٍ بُخارِيٍّ في مُؤَخَّرِها، وتُحَرَّكُ العَجَلاتُ بِواسِطَةِ مُسَنَّناتٍ كَما تُحَرَّكُ الدَّرّاجَةُ بالدَّوّاسَتَيْنِ.

مَرْكَبَةُ ماركوس بِمُحَرِّكٍ بِنْزينِيٍّ

طِرازُ فورد – تي

المِطْواعَة (الأوبيسانت)

فوق

سَيّارَةٌ مِنْ طِرازِ فورد – تي ١٩١١ أَكْثَرُ السَّيّاراتِ شَعْبِيَّةً في عَصْرِها. وقَدْ بيعَ مِنْها حَوالَى ١٥ مليونَ سَيّارَةٍ بَيْنَ ١٩٠٨ و ١٩٢٧

وقَدْ بَدَأَ إنْتاجُ سَيّاراتِ ٱلبِنْزينِ ٱلعَمَلِيَّةِ ٱلأُولى في أَلْمانيا (أُنْظُرْ صَفْحَةَ ٢٢٣) وجَرى تَصْديرُها إلى بريطانيا عامَ ١٨٨٩ حَيْثُ رُفِعَ حَدُّ ٱلسُّرْعَةِ ٱلأَقْصى إلى ١٩٫٢ كلم في ٱلسّاعَةِ.

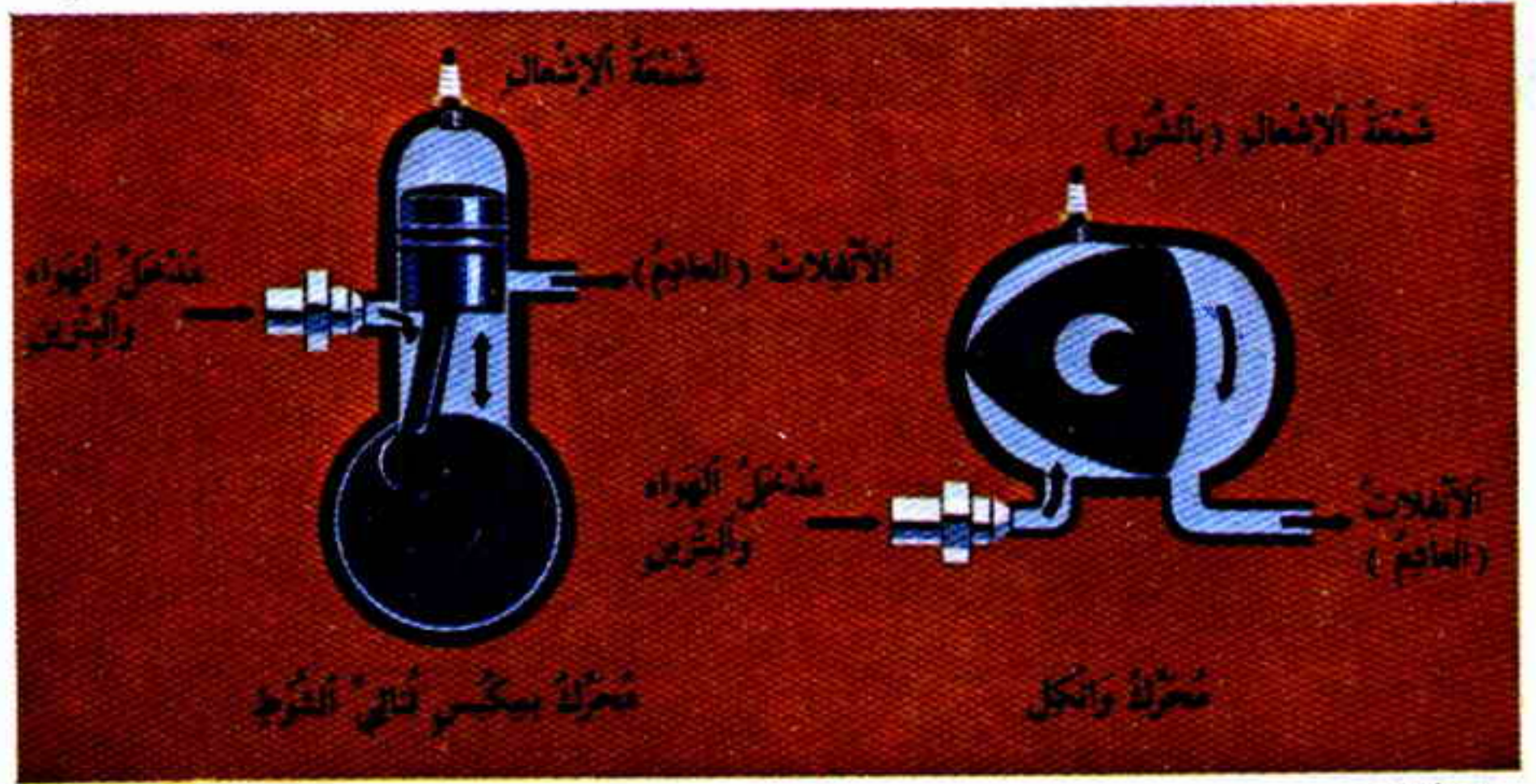
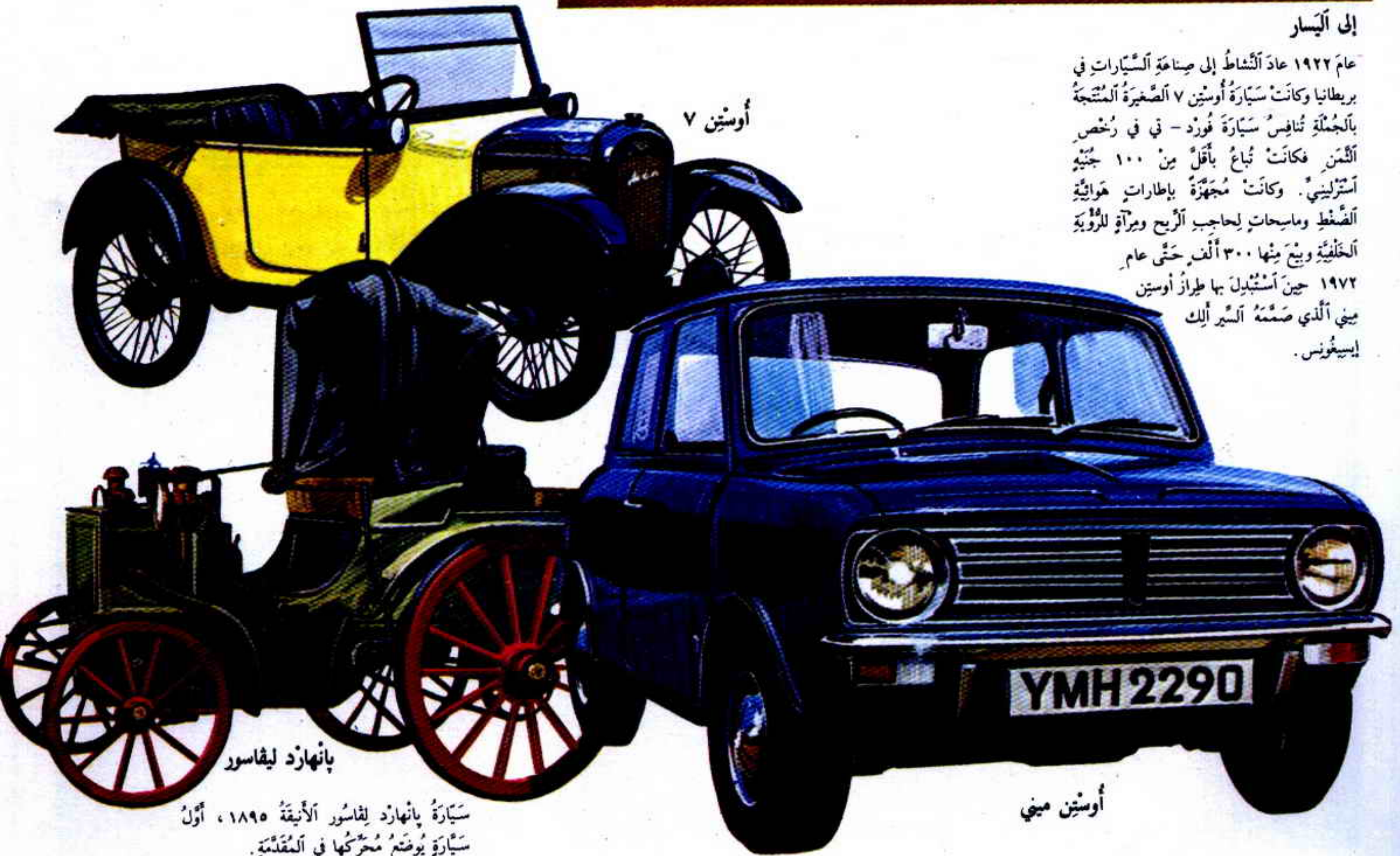
وحَتّى أوائِلِ ٱلقَرْنِ ٱلعِشْرينَ ظَلَّتْ سَيّاراتُ ٱلمُحَرِّكِ ٱلبُخاريِّ تُصْنَعُ عَلى نِطاقٍ واسِعٍ وقَدَّمَ ٱلأُخْوَةُ ستانْلي سَيّارَتَهُمْ «**ستانْلي روكيت**» عامَ ١٩٠٦ ٱلَّتي ٱسْتَطاعَتْ تَسْجيلَ سُرْعَةِ ٢٠٣٫٢ كلم في ٱلسّاعَةِ. لٰكِنَّ ٱلسَّيّاراتِ ٱلبُخارِيَّةَ ٱخْتَفَتْ تَدْريجِيًّا لِأَنَّها كانَتْ عَديمَةَ ٱلرَّشاقَةِ وبالِغَةَ ٱلتَّكاليفِ.

وأُدْخِلَتْ تَحْسيناتٌ مُتَعَدِّدَةٌ عَلى ٱلسَّيّاراتِ ٱلمُدارَةِ بِمُحَرِّكاتِ ٱلبِنْزينِ (الغازُولين) في ٱلفَتْرَةِ بَيْنَ ١٩٠٧ و ١٩٣٠. فأَنْتَجَ ٱلسِّيرِ هنْري رُويْس سَيّارَةَ «ٱلشَّبَحِ ٱلفِضِّيِّ» عامَ ١٩٠٧، وأَنْتَجَ هنْري فُورْد سَيّارَةَ «فُورْد تي» ٱلرَّخيصَةَ ٱلثَّمَنِ عامَ ١٩٠٨. وٱزْدادَتْ هَياكِلُ ٱلسَّيّاراتِ مَتانَةً وٱنْسِيابِيَّةً، وأُدْخِلَ نِظامُ ٱلتَّعْليقِ ٱلمُنْفَصِلِ وٱلتُّروسُ ٱلمُتَزامِنَةُ ٱلتَّعْشيقِ ومُخَمِّداتُ ٱلأرْتِجاجِ وماسِحاتُ حاجِبِ ٱلرِّيحِ ومُخْتَلِفُ مَضابِطِ ٱلقِياساتِ وٱلمُؤَشِّراتِ. ومُنْذُ عامِ ١٩٣٠ أُضيفَتْ تَحْسيناتٌ شَمَلَتِ ٱلتُّروسَ ٱلأُوتوماتِيَّةَ وٱحْتِياطاتِ ٱلأَمانِ ومُحَرِّكَ وانْكِلِ ٱلدَّوّارَ.

وَظَهَرَتْ أَوَّلُ سَيّارَةٍ كَهْرَبائِيَّةٍ عامَ ١٨٩٠ بَعْدَ ٱخْتِراعِ غاسْتُون پلانْت لِلْحاشِدَةِ ٱلكَهْرَبائِيَّةِ، ولاقَتْ شَعْبِيَّةً وإِقْبالًا لٰكِنَّها كانَتْ بِحاجَةٍ إلى إعادَةِ شَحْنِ ٱلبَطّارِيَّةِ بَعْدَ مَسافَةٍ قَصيرَةٍ. وعِنْدَ ٱسْتِحْداثِ ٱلدَّورانِ ٱلبَدْئِيِّ ٱلتِّلْقائِيِّ في سَيّارَةِ ٱلغازُولين أُهْمِلَ شَأْنُ ٱلسَّيّارَةِ ٱلكَهْرَبائِيَّةِ وظَلَّ ٱسْتِخْدامُها مُقْتَصِرًا عَلى بَعْضِ سَيّاراتِ ٱلنَّقْلِ ٱلصَّغيرَةِ. لٰكِنَّ ٱلٱهْتِمامَ بِٱلسَّيّارَةِ ٱلكَهْرَبائِيَّةِ عادَ يُراوِدُ ٱلأَذْهانَ لِتَجَنُّبِ ٱلتَّلَوُّثِ ٱلَّذي أَصْبَحَ مُشْكِلَةَ ٱلعَصْرِ. ونَحْنُ نَأْمُلُ أَن يُوَفَّقَ ٱلباحِثونَ إلى تَطْويرِ بَطّارِيّاتٍ خَفيفَةِ ٱلوَزْنِ عالِيَةِ ٱلكِفايَةِ تُؤَدّي شِحْنَتُها ما يُؤَدّيهِ مَلْءُ خَزّانِ ٱلسَّيّارَةِ مِنَ ٱلغازُولين.

إلى أسْفَل

يَتَمَيَّزُ مُحَرِّكُ وانْكِل بِمِكْبَسٍ دَوّارٍ بَدَلًا مِنَ ٱلمِكْبَسِ ٱلمُتَرَجِّحِ صُعُودًا وهُبُوطًا ولَوْ أَنَّ ٱلنَّوْعَيْنِ مُتَماثِلانِ مِنْ حَيْثُ ٱلمَبْدَأ. ويَعْمَلُ ٱلمِكْبَسُ ٱلمُثَلَّثُ ٱلشَّكْلِ في مُحَرِّكِ وانْكِل عَلى ضَغْطِ مَزيجِ ٱلهَواءِ وٱلوَقودِ في أُسْطُوانَةٍ إهْليلَجِيَّةٍ.

إلى ٱليَسار

عامَ ١٩٢٢ عادَ ٱلنَّشاطُ إلى صِناعَةِ ٱلسَّيّاراتِ في بريطانيا وكانَتْ سَيّارَةُ أُوسْتِن ٧ ٱلصَّغيرَةُ ٱلمُنْتَجَةُ بِٱلجُمْلَةِ تُنافِسُ سَيّارَةَ فُورْد – تي في رُخْصِ ٱلثَّمَنِ فكانَتْ تُباعُ بِأَقَلَّ مِنْ ١٠٠ جُنَيْهٍ ٱسْتِرْلينِيٍّ. وكانَتْ مُجَهَّزَةً بِإطاراتٍ هَوائِيَّةِ ٱلضَّغْطِ وماسِحاتٍ لِحاجِبِ ٱلرِّيحِ ومِرْآةٍ لِلرُّؤْيَةِ ٱلخَلْفِيَّةِ وبيعَ مِنْها ٣٠٠ أَلْفٍ حَتّى عامِ ١٩٧٢ حينَ ٱسْتُبْدِلَ بِها طِرازُ أوسْتِن ميني ٱلَّذي صَمَّمَهُ ٱلسِّيرِ أَلِك إيسيغُونِس.

سَيّارَةُ پانْهارْد لِڤاسُور ٱلأَنيقَةُ ١٨٩٥، أَوَّلُ سَيّارَةٍ يُوضَعُ مُحَرِّكُها في ٱلمُقَدِّمَةِ.

اَلغَوّاصاتُ

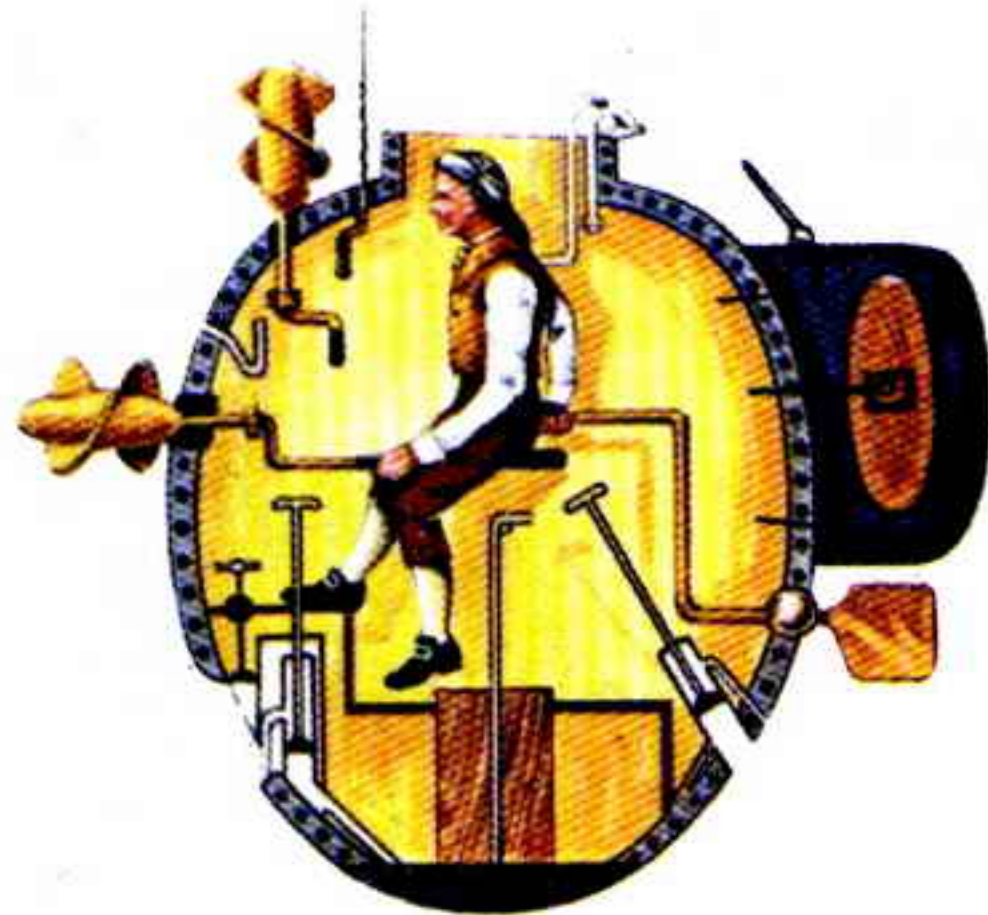
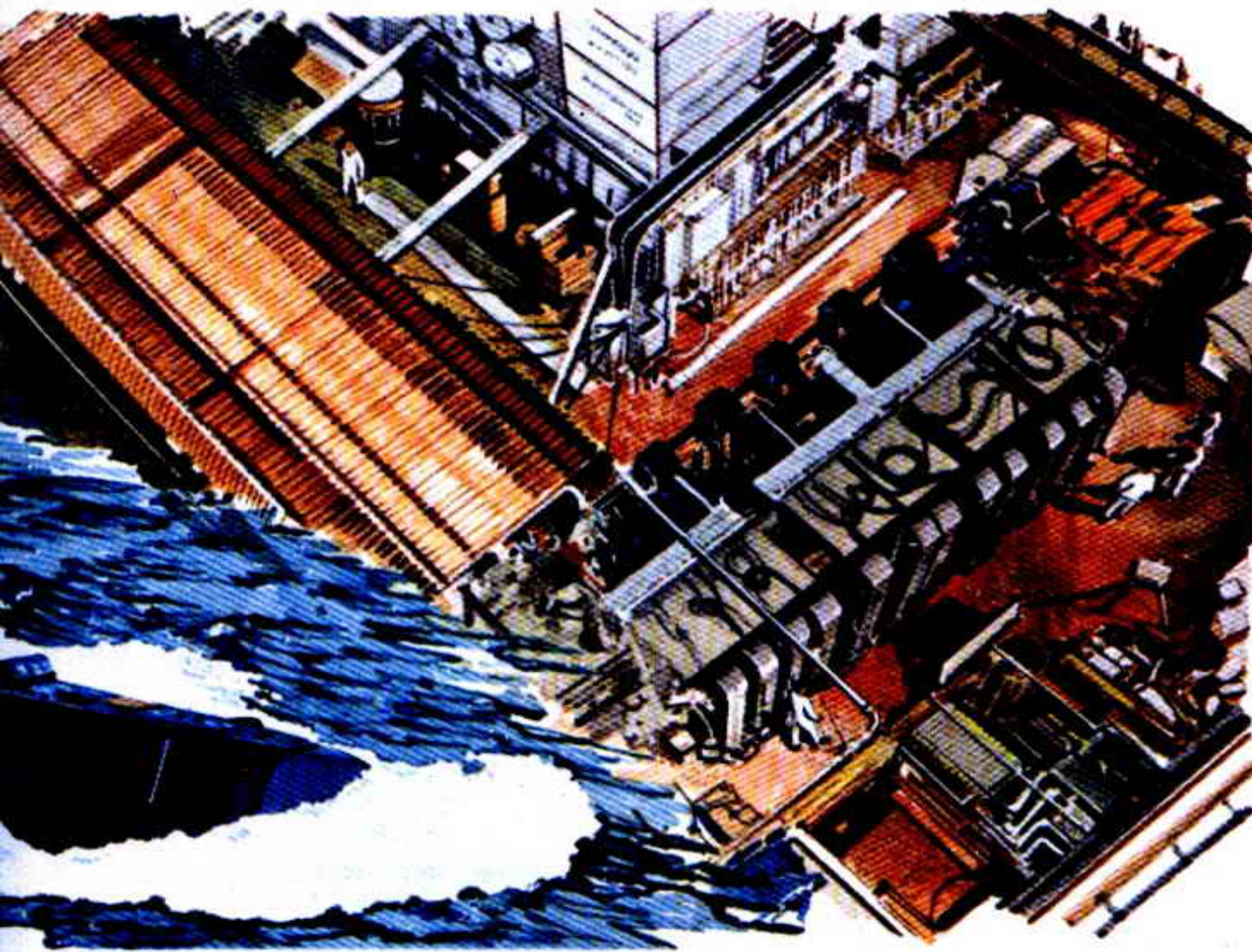
بُنِيَتْ أَوَّلُ غَوَّاصَةٍ صالِحَةٍ لِلْغَوْصِ عامَ ١٧٧٥ عَلى يد اَلْأَميركِيِّ داود بُوشْنِل. واَسْتُخْدِمَتْ هٰذِهِ اَلْغَوّاصَةُ في اَلحَرْبِ اَلْأَميركِيَّةِ في مُحاوَلَةٍ لِلَغْمِ سَفينَةٍ بريطانِيَّةٍ قِبالَةَ نْيُويُورك، لٰكِنَّها فَشِلَتْ لِعَدَمِ تَمَكُّنِها مِنَ اَلْبَقاءِ مُدَّةً كافِيَةً تَحْتَ اَلماءِ.

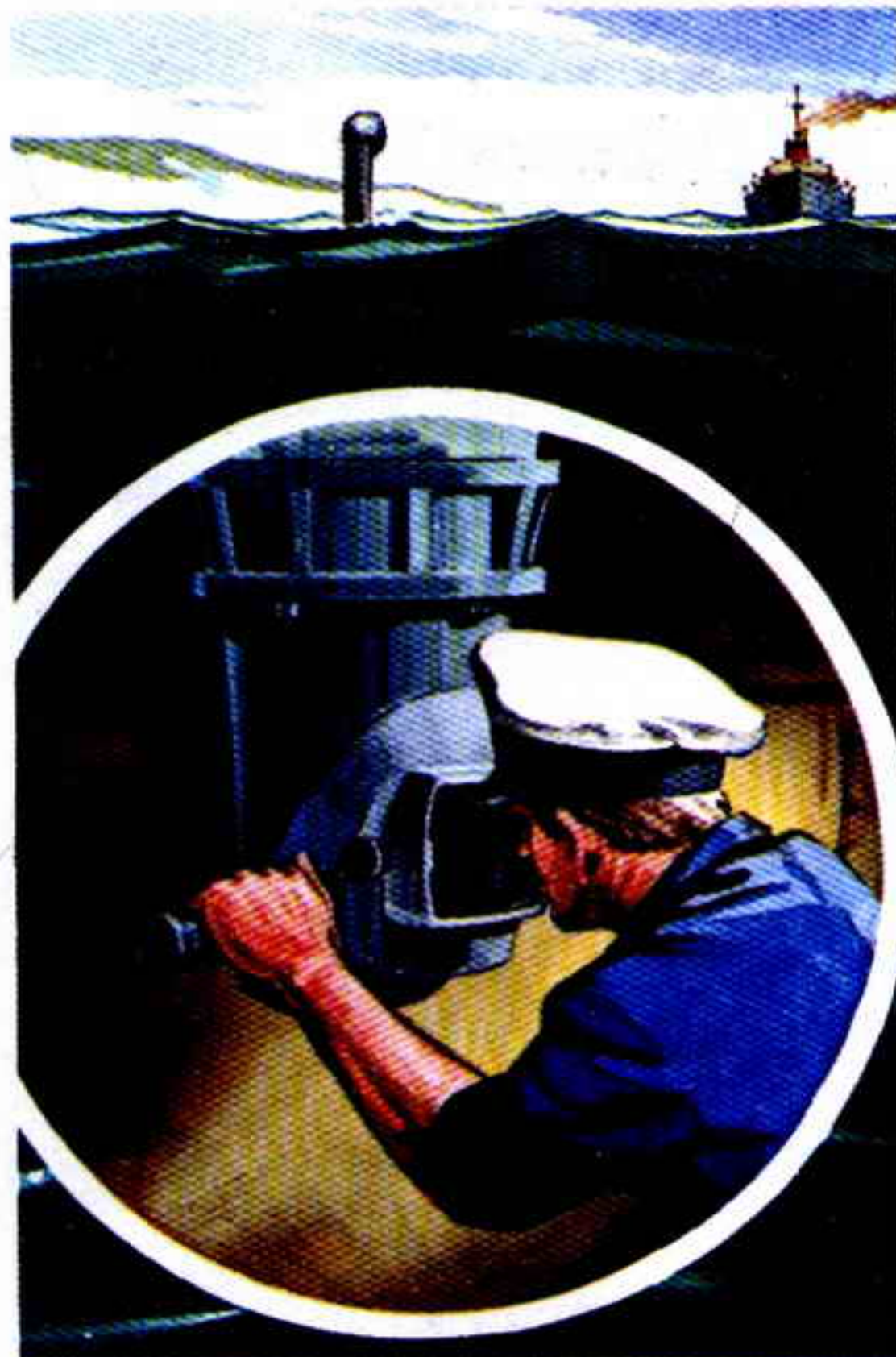
وفي عام ١٨٠١ بَنَى رُوبَرْت فُلْتون اَلأميركيُّ غَوَّاصَةً لِلْفَرَنْسِيِّينَ أَسْماها «**نوتيلوس**» كانَتْ تَسيرُ بالأَشْرِعَةِ فَوْقَ اَلماءِ وتُدارُ تَحْتَ اَلماءِ بِمِرْوَحَةٍ يُحَرِّكُها سَيْرٌ يَنقُلُ اَلحَرَكَةَ مِنْ عَجَلَةٍ يُدَوِّرُها أَرْبَعَةُ رِجالٍ. وكانَتْ تَحْمِلُ مِنَ اَلْأُكْسجين ما يَكْفي لِتَنَفُّسِ مَلّاحيها اَلْأَرْبَعَةِ ولِاَحْتِراقِ شَمْعَتَيْنِ مُدَّةَ ساعَتَيْنِ مِنَ اَلزَّمَنِ.

وظَلَّ تَسْييرُ اَلغَوّاصَةِ مُشْكِلَةً أَساسِيَّةً أَمامَ تَطَوُّرِها حَتّى اَخْتِراعِ مُحَرِّكِ ديزِل. فالمُحَرِّكاتُ اَلْبُخارِيَّةُ لَمْ تَكُنْ مُلائِمَةً، كَما إنَّ أَخْطارَ الاَنْفِجارِ حالَتْ دونَ اَسْتِخْدامِ اَلمُحَرِّكِ اَلبِنْزينيِّ. وفي غُضونِ اَلحَرْبِ اَلعالَمِيَّةِ اَلثّانِيَةِ أُدْخِلَتْ تَحْسيناتٌ كَثيرَةٌ عَلى اَلغَوّاصاتِ واَسْتَخْدَمَها اَلجانِبانِ اَلمُتَحارِبانِ في إغْراقِ سُفُنِ اَلتَّمْوينِ اَلمُعادِيَةِ بالطُّورْبيداتِ، وأَصْبَحَ بِمَقْدُورِ اَلغَوّاصَةِ اَلبَقاءُ تَحْتَ اَلماءِ مِنْ يَوْمَيْنِ إلى ثَلاثَةِ أَيّامٍ.

وتُسَيَّرُ اَلغَوّاصَةُ اَلحَديثَةُ تَحْتَ اَلماءِ بِمُحَرِّكٍ كَهْرَبائِيٍّ تُغَذّيهِ اَلبَطّارِيّاتُ، بَيْنَما تَعْمَلُ مُحَرِّكاتُ اَلدّيزِل والغَوّاصَةُ فَوْقَ اَلماءِ فَتُديرُ اَلمُحَرِّكَ والمُوَلِّدَ اَلمُتَّصِلَ بِهِ لِشَحْنِ اَلبَطّارِيّاتِ.

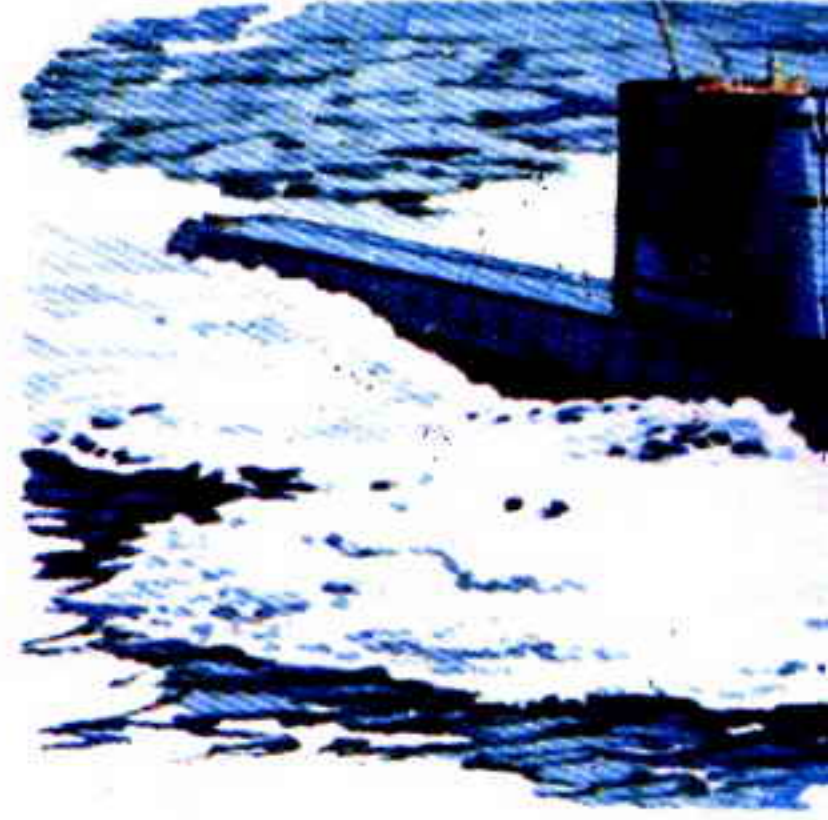
وقَدِ اَسْتُخْدِمَتِ اَلطّاقَةُ اَلنَّوَوِيَّةُ مُؤَخَّرًا في تَسْييرِ اَلغَوّاصاتِ. فالغَوّاصَةُ اَلنَّوَوِيَّةُ مُجَهَّزَةٌ بِمُفاعِلٍ نَوَوِيٍّ صَغيرٍ (اُنْظُرْ صَفْحَةَ ١٩٨) يُوَلِّدُ حَرارَةً تُبَخِّرُ اَلماءَ في مِرْجَلٍ، ويُديرُ اَلبُخارُ اَلمُنْدَفِعُ تُورْبينًا يَنْقُلُ بِدَوْرِهِ اَلحَرَكَةَ إلى مِرْوَحَةِ اَلغَوّاصَةِ. وتَمْتازُ اَلغَوّاصَةُ اَلنَّوَوِيَّةُ باَسْتِخْدامِ كَمِّيَّةٍ قَليلَةٍ مِنَ اَلوَقودِ اَلنَّوَوِيِّ (اليُورانيُوم أَوِ اَلبْلُوتُونْيُوم) وباَسْتِطاعَتِها اَلبَقاءُ تَحْتَ اَلماءِ عِدَّةَ أَشْهُرٍ، بَيْنَما يَتَعَيَّنُ عَلى اَلغَوّاصَةِ اَلعادِيَةِ اَللُّجوءُ إلى ميناءٍ لِلتَّزَوُّدِ بالزَّيْتِ كَما إنَّ عَلَيْها اَلصُّعُودَ إلى اَلسَّطْحِ مِنْ حينٍ لِآخَرَ لِشَحْنِ اَلبَطّارِيّاتِ بِإدارَةِ مُحَرِّكِ اَلدّيزِل اَلَّذي يَحْتاجُ إلى مَوْرِدِ هَواءٍ لِتَشْغيلِهِ.

وقَدْ حاوَلَ اَلسِّير هيُوبَرْت وِلْكِنز اَلأُسْترالِيُّ عامَ

إلى اَليَمين

يُبَيِّنُ اَلشَّكْلُ اَلتَّرْكيبَ اَلدّاخِلِيَّ لِأَوَّلِ غَوّاصَةٍ اَسْتُخْدِمَتْ في اَلحُروبِ. لَقَدْ أُطْلِقَ عَلَيْها اَسْمُ اَللَّجّاةِ (السُّلَحْفاةِ اَلبحرِيَّةِ)، وقَدْ صُنِعَتْ مِنْ خَشَبِ اَلبَلُّوطِ بِشَكْلِ اَلإِجّاصَةِ. وكانَتْ تُسَيَّرُ بِمِرْوَحَةٍ يَدَوِيَّةِ اَلإِدارَةِ.

إلى اَليَمين

يُسْتَخْدَمُ اَلمِفْاق (اَلبِريسْكُوب) في اَلغَوّاصَةِ لِرُؤْيَةِ اَلسَّماءِ والأُفُقِ فَوْقَ اَلماءِ عِنْدَما تَكونُ اَلغَوّاصَةُ تَحْتَ سَطْحِهِ. وتُسْتَخْدَمُ اَلمَوْشُوراتُ اَلزُّجاجِيَّةُ لِعَكْسِ أَشِعَّةِ اَلضَّوْءِ عَبْرَ أُنبوبِ اَلمِفْاقِ إلى عَيْنِ اَلمُراقِبِ، ويُجَهَّزُ مِنْظارُ اَلمِفْاقِ بالعَدَساتِ اَللّازِمَةِ لِتَكْبيرِ اَلصُّوَرِ وتَوْضيحِها.

إلى اليمين

المفاعل النووي على متن الغواصة «نوتيلوس»، أولى الغواصات النووية. في عام ١٩٥٨ سيّر الأسطول الأميركي هذه الغواصة في رحلة تحت جليد القطب الشمالي استغرقت ١١ يومًا، وقد بلغت القطب في ٣ آب (أغسطس) من ذلك العام. وكانت الغواصة تواجه دائمًا خطر الانحصار بين السقف الجليدي وقعر المحيط.

١٩٣١ بلوغ القطب الشمالي بالإبحار تحت الغطاء الثلجي في غواصة عادية، لكنه فشل لاضطراره إلى الصعود إلى السطح تكرارًا طلبًا للهواء.

وفي عام ١٩٥٨ أعاد الأسطول الأميركي المحاولة مستخدمًا الغواصة النووية الأولى المسماة أيضًا «**نوتيلوس**» بعد تجهيزها بأجهزة سبر صدوية للتأكد من وجود فسحة كافية لعبورها بين السقف الجليدي وقعر المحيط. وكانت النوتيلوس النووية مجهزة بثلاث بوصلات خاصة لأن البوصلة العادية لا تعمل بدقة على مقربة من القطب. وقد تم لها عبور القطب في أغسطس (آب) من ذلك العام.

وتجري حاليًا أبحاث حول إمكانية العيش والعمل تحت الماء، وتنطوي هذه الأبحاث على معالجة وسائل التنفس تحت الماء ودراسة تكيفات الجسم الإنساني في بيئة الضغط المائي الهائل.

وقد أقيم **مختبر بحري** فوق أرض المحيط الهادي على مقربة من شاطئ كاليفورنيا. ويعيش في هذا المختبر ثلاثة روّاد بحريين فترات قصيرة لاختبار إمكانية العيش والعمل في تلك الأعماق.

إلى اليمين

هنالك أربع حجرات رئيسية في المختبر البحري «تكتايت» هي قاعة المختبر وغرفة آلات القيادة ومقصورة النوم والعيش وحجرة البلل. وحجرة البلل هي مكان الخروج من المختبر أو العودة إليه.

إلى أسفل

بنى مركبة الغوص هذه العالم كميل ليرد لاستقصاء قعر البحار وريادتها. وهي تسيّر بالكهرباء وتتنقل بسهولة. وتأتيها الطاقة عبر كبل التغذية من سفينة مرافقة فوق السطح. ويستطيع غواصو المركبة التنقيب عن الزيت والمعادن في قاع البحار أو دراسة الكائنات الحية التي تعيش في تلك البيئة.

اَلحَـوّامَةُ

حَقَّقَ المُهَنْدِسُ البريطاني كريستوفر كوكريل صُنْعَ أَوَّلِ حَوَّامَةٍ عَمَلِيَّةٍ في أوائِلِ الخَمْسينيَّاتِ من هٰذا القَرْن. وهيَ عِبارَةٌ عَنْ مِنَصَّةٍ هوائيَّةٍ تَطْفُو فوقَ مِخَدَّةٍ من الهواء، تَدْفَعُها مِرْوَحَةٌ داسِرَةٌ وتُوَجِّهُها دَفَّةٌ كالطَّائِرَةِ.

وتُوَلَّدُ المِخَدَّةُ الهوائيَّةُ تَحْتَ الحَوَّامَةِ بواسِطَةِ مِرْوَحَةٍ كَبيرَةٍ مُسَطَّحَةٍ تَدْفَعُ الهواءَ بِشِدَّةٍ إلى أَسْفَلَ فَيرتَفِعُ جِسْمُ الحَوَّامَةِ فَوْقَ اليابِسَةِ أو الماءِ بَرَدِّ الفِعْلِ دُونَما حاجَةٍ إلى عَجَلات. وتَنْبَعِثُ من حَواشي المِخَدَّةِ الهوائيَّةِ نَوافيرُ هَوائيَّةٌ قَوِيَّةٌ تَعْزِلُ المِخَدَّةَ الهوائيَّةَ داخِلَ إزارٍ مَطّاطيٍّ انْثِنائيٍّ.

ويَعْتَمِدُ ارْتِفاعُ الحَوَّامَةِ عن الأَرْضِ على سُرْعَةِ الهواءِ المُنْدَفِع، ولا بُدَّ مِن تَوافُرِ سَطْحِ مِنَصِّيٍّ كافٍ لِتَهْيِئَةِ مِخَدَّةٍ هَوائِيَّةٍ كَبيرَةٍ لِلْحُصولِ على ارْتِفاعٍ مَعْقُولٍ. وَقَدْ أَثْبَتَتِ الاختِباراتُ أَنَّ الارْتِفاعَ الأَمْثَلَ هُوَ عُشْرُ قُطْرِ المِنَصَّةِ، أَيْ إِنَّ الحَوَّامَةَ الَّتي قُطْرُ مِنَصَّتِها ٥ أمتارٍ يَنْبَغي أَنْ تَسُفَّ على ارْتِفاعِ نِصْفِ مِتْرٍ عن سَطْحِ الأَرض.

ومَعَ أَنَّ المَنَصَّةَ الدائِرِيَّةَ هيَ الشَّكْلُ الأَمْثَلُ لِلْحَوَّامَةِ فإِنَّ هٰذا لَيْسَ الشَّكْلَ الأَمْثَلَ لِمَرْكَبَةٍ سَيَّارَةٍ؛ لِذا تُصْنَعُ الحَوَّاماتُ بَيْضاوِيَةَ الشَّكْلِ أَوْ مُسْتَطيلَتَه. وتَعْمَل الحَوَّاماتُ حاليًّا في خُطُوطٍ مُنْتَظِمَةٍ عَبْرَ القَنالِ الإنكليزي بَيْنَ دُوفَر وبُولُون، وهٰذِهِ الحَوَّاماتُ كَبيرةٌ تَتَّسِعُ الواحِدَةُ مِنْها إلى ٢٥٤ راكبًا و ٣٠ سيَّارَةً وتَصِلُ سُرعَتُها إلى ٩٠ كيلومترًا في السَّاعَةِ. وهي مُجَهَّزَةٌ بأَرْبَعِ مَراوِحِ دَفْعٍ تُديرُها أَرْبَعُ مُحَرِّكاتٍ مِرْوَحِيَّةٍ تُورْبينيَّةٍ مِنْ طِرازِ رُولْز رُويْس.

وتُسْتَخْدَمُ الحَوّاماتُ حاليًّا في جَميعِ أَنْحاءِ العالَم، وَهِيَ مُفيدَةٌ خاصَّةً في السَّفَرِ فَوْقَ الأَنْهُرِ عَبْرَ الأَدْغالِ كَما في الأَمازُون، أَوْ لِلْوُصولِ إلى مَناطِقَ يَصْعُبُ هُبوطُ الطائراتِ فيها. وتَجْري التجارِبُ حاليًّا في عِدَّةِ بُلدانٍ على اسْتِخْدامِ مَبْدأ الحَوَّامَةِ في تَسْييرِ القُطُرِ السَّفّافَةِ. وباسْتِطاعَةِ مِثْلِ هٰذِهِ القُطُرِ اسْتِخْدامُ طُرُقِ السِّكَكِ

فَوْقُ

تَعْمَلُ هذه الحَوَّامَةُ عَلى خَطٍّ نِظاميٍّ عَبْرَ القَنالِ الإنكليزيِّ بَيْنَ إنكِلْترا وفَرَنْسا، وتَنْطَلِق بِسُرْعَةٍ قَدْ تَبْلُغُ ٩٦ كيلومترًا في السَّاعَةِ فَتَقْطَعُ المسافَةَ بَيْنَ دُوفَر وبُولُون في حَوالى ٤٠ دَقيقة. ويَتَسَبَّبُ التَّرْشاشُ المُتناثِرُ حَوْلَ إزارِ الحوَّامةِ عَنْ تياراتِ الهَواءِ المُتسرِّبِ مِنَ المِخَدَّةِ الهَوائيَّةِ.

إلى أَسْفَلُ

نَموذَجٌ لِبيانِ عَمَلِ الحَوَّامَةِ يَسْتَخْدِمُ تَربيجَ مِكْنَسَةٍ خَوائيَّةٍ كَهْرَبائيَّةٍ لِحَقْنِ الهواء. ويَنْبَغي دَوَرانُ المِرْوَحَةِ بِسُرْعَةٍ عاليَةٍ لتوليدِ مِخَدَّةٍ هَوائيَّةٍ تَحْصُرُها نَوافيرُ الهواءِ المُتحرِّكَةُ. وعِنْدَ التَّوَقُّفِ يَتَحَرَّكُ إزارُ الحَوَّامَةِ إلى الخارِجِ لِتَحْريرِ هَواءِ المِخَدَّةِ وتَتَوقَّفُ مَراوِحُ الدَّفْعِ عَنِ العَمَلِ وتَسْتَقِرُّ المَرْكَبَةُ عَلى سَطْحِ الهُبُوطِ.

ٱلحديديَّةِ ٱلحاليَّةِ لكِنْ سَيُسْتَغْنَى عَنِ ٱلعَجلاتِ وٱلقُضْبانِ ويُسْتَبْدَلُ بِها قَنَواتٌ أَوْ مَسالِكُ خرَسانِيَّةٌ خاصَّةٌ.

وتجِدُ فِكْرَةُ ٱلحَمْلِ فَوْقَ مِخَدَّةٍ هَوائِيَّةٍ حالِيًّا تَطبيقاتٍ عَمليَّةً في مُعَدَّاتٍ عادِيَّةِ ٱلأَسْتِعْمال. فهُنالِكَ مَكانِسُ كَهْرَبائِيَّةٌ خَوائِيَّةٌ تَسُفُّ فَوْقَ ٱلسَّجَّادِ بهٰذِهِ ٱلطَّرِيقَةِ، وجَزَّازاتُ العُشْبِ ٱلدَّفَّافَةُ فَوْقَ مِخدَّةٍ هَوائِيَّةٍ أَصْبَحَتْ شائِعةَ ٱلأَسْتِعْمال وَهْيَ مُفيدةٌ بِخاصَّةٍ في جَزِّ عُشْبِ ٱلأَرْصِفَةِ وٱلمُنحَدَراتِ.

وزَوارِقُ ٱلسُّطُوحِ ٱلأنسِيابِيَّةِ مُماثِلَةٌ منْ حَيْثُ إِنَّها «تَنْزَلِقُ» فَوقَ سَطْحِ ٱلماءِ. فٱلزَّوْرَقُ مُجَهَّزٌ بِأَسْطُحٍ رَقيقَةٍ مُصَمَّمةٍ لِرَفْعِ جِسْمِ ٱلزوْرقِ من ٱلماءِ عِنْدَ ٱنطِلاقِهِ بِسُرْعَةٍ عالِيَةٍ. وهٰذِهِ ٱلأَسْطُحُ مثَبَّتَةٌ أُفُقِيًّا تَحْتَ ٱلزَّوْرَقِ وتَتَّصِلُ بٱلجِسْمِ بواسِطَةِ دَعائِمَ أَوْ شِكالاتٍ مَعْدِنِيَّةٍ. وتَعْمَلُ هٰذه ٱلأَسْطُحُ كَجَناحَيِ ٱلطائرةِ فيَبْدُو ٱلزَّوْرَقُ ٱلمُنْطَلِقُ وكأنَّهُ مَحْمُولٌ على رَكائزَ فَوْقَ ٱلماءِ بَيْنَا ٱلأَسْطُحُ ٱلأنزِلاقِيَّةُ تُماسُّ سَطْحَ ٱلماءِ أَوْ تكادُ. وبِرَفْعِ جِسْمِ ٱلزَّوْرقِ ٱلمُنطَلِقِ بِهٰذه ٱلطَّرِيقَةِ يَقِلُّ جِدًّا ٱلأَحْتِكاكُ بَيْنَهُ وبَيْنَ ٱلماءِ.

فَوْقُ

قَدْ تَكُون ٱلقُطُرُ ٱلسَّفَّافَةُ وَسيلةَ ٱلتنقُّلِ ٱلمُثْلَى بَيْنَ ٱلمُدنِ في ٱلمُستَقْبَلِ، فَتَنْدَفِعُ في مَسالِكَ عُلْوِيَّةٍ (أَوْ سُفْلِيَّةٍ) خرَسانِيَّةٍ فَوْقَ مِخدَّةِ توسيدٍ هَوائِيَّةٍ. وقَدْ تَعْمَلُ هٰذِهِ ٱلقُطُرُ بٱلدَّفْعِ ٱلنَّفَّاثِ (ٱلنَّافُورِيِّ) وبِدُونِ سائقٍ بِسُرعاتٍ تَبْلغُ عِدَّةَ مئاتٍ مِنَ ٱلأَمْيال في ٱلساعَةِ.
(ٱلصُّورَةُ ٱلمُدرَجَةُ) رَسْمٌ يُبَيِّنُ نِظامَ التوسيدِ ٱلهوائيِّ في ٱلقِطار ٱلسَّفَّافِ.

إلى ٱليمين

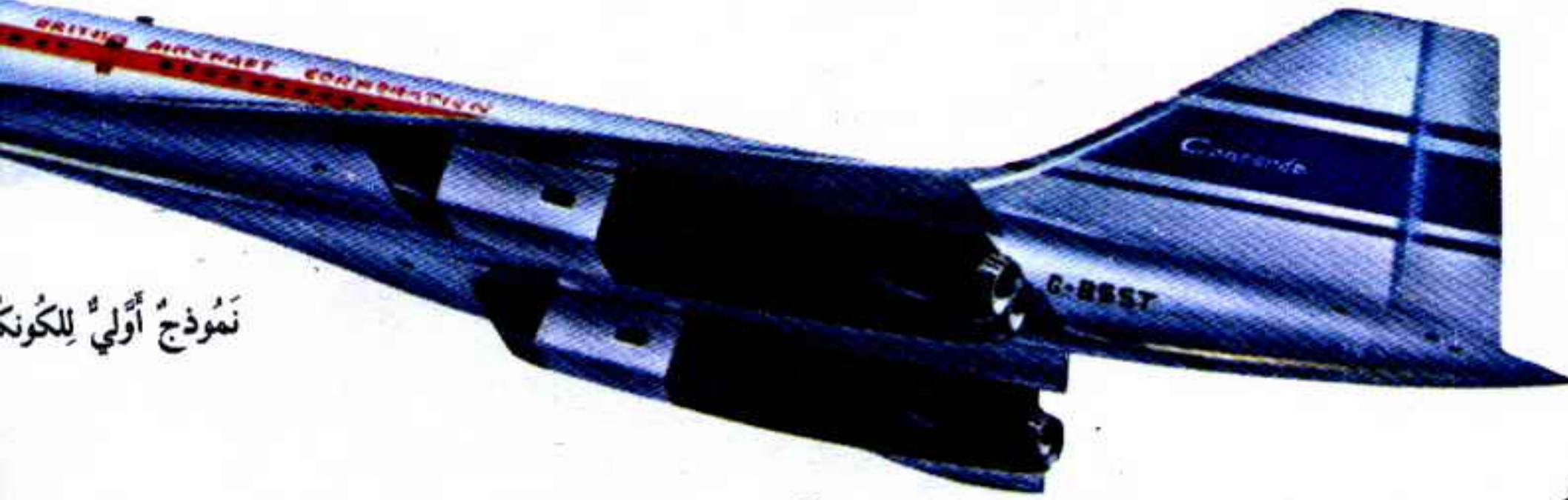
جَزّازةُ عُشْبٍ صَغيرةٌ تَدِفُّ فَوْقَ مِخَدَّةٍ هَوائِيَّةٍ، وَهْيَ مُفيدةٌ في جَزِّ ٱلأَعشابِ ٱلغليظَةِ وأَعْشابِ ٱلأَرْصِفَةِ ٱلمُنحَدِرَةِ.

إلى أَسْفَلُ

زَوْرَقٌ ذُو أَسْطُحٍ ٱنسِيابيَّةٍ يَنْطَلِقُ بٱلسُّرعَةِ ٱلقُصْوَى. تَتَّصِلُ ٱلرَّكائزُ ٱلجانِبِيَّةُ بٱلأَسْطُحِ ٱلانسِيابِيَّةِ ٱلتي يَكادُ يغْمُرُها ٱلماءُ. وهٰذهِ ٱلزَّوارِقُ مُفيدةٌ بِنَوْعٍ خاصٍّ فَوْقَ ٱلأَنْهُرِ وفي المَوانئ. وبَعْضُها قَيْدُ ٱلأَستِعمال حالِيًّا في نَهْرِ ٱلتَّيمز بِلَنْدَنَ وفي ميناءِ سِدْني بأُستراليا وفي ٱلخُلْجانِ ٱلنَّرويجِيَّةِ.

الزَّوْرَقُ الطائرُ، سيكُورسك ٥٤٢ (في أواسِط الثلاثينيّاتِ)

إلى اسفل
تُعدُّ طائرةُ الكونكورد مِن أحْدَثِ طائراتِ الرُّكابِ فَوْقَ الصوتيَّة. تَبْلُغُ سُرعَتُها ٢٣٢٠ كيلومترًا في السَّاعَةِ. وقَدْ تَمَّ بِناؤُها بالتعاونِ بينَ شركةِ الطائراتِ البريطانيَّةِ وشركة الطيرانِ الفرنسيَّةِ.

فَوْقُ
تَحْمِلُ الطائرة المائيَّةُ زَلّاجاتٍ مائيَّةً في هَيْكَلِها السُّفليِّ بَدَلًا من عَجَلاتِ الهُبُوط. وكانَتِ الطائراتُ المائيَّةُ إلى عَهْدٍ قريب تَقُومُ بِخِدَماتِ نَقْلِ الرُّكابِ في عِدَّةِ أنحاءٍ مِن العالَم، ولكِنَّها عادَتْ قليلةَ الاستِعمالِ حاليًّا.

نَمُوذجٌ أوّليٌّ لِلكُونكورد

الطّائرَةُ

حَلَمَ الإنسانُ مُنْذُ القِدَمِ بالطَّيرانِ واخْتَبَرَ عِدَّةَ وَسائلَ ومَكَناتٍ في سَبيلِ ذلكَ. وكانَ أوَّلُ انطلاقٍ ناجحٍ لِلْمُنْطادِ على أيْدي الأخوَيْنِ مُونجُولْفِييه عامَ ١٧٨٢ اللَّذَيْنِ استَخدَما الهواءَ السَّاخنَ (وهُوَ أخفُّ مِنَ الهواءِ العاديِّ) لِمَلْءِ مُنْطادِهِما. وقَدِ استُخْدِمَ هذا المُنْطادُ في أوَّلِ طَيَرانٍ بَشَريٍّ عامَ ١٧٨٣ معَ أنَّ المُنْطاد ظَلَّ مَشْدُودًا بحبْلٍ إلى الأرضِ. وفي عامِ ١٧٨٥ عَبَرَ بلانشارد وجفْرِز القَنالَ الإنكليزيَّ في مُنْطادٍ مُعَبَّأٍ بالهَيْدرُوجين وهُو غازٌ أخفُّ مِنَ الهواءِ كثيرًا.

وفي القَرْنِ التاسِعَ عَشَرَ بَدَأَتِ التَّجارِبُ على الطّائراتِ الشِّراعيَّةِ الَّتي يُحاكِي طَيَرانُها تَحْليقَ الطُيورِ. وجَناحَا الطائرةِ الشِّراعيَّةِ مُقَوَّسانِ قليلًا، وهذا يُوَلِّدُ دَفْعًا عُلْويًّا في أثْناءِ انسِيابِ الطائرةِ عَبْرَ الهواءِ يَكْفي لِحَمْلِها مَسافَةً طويلَةً.

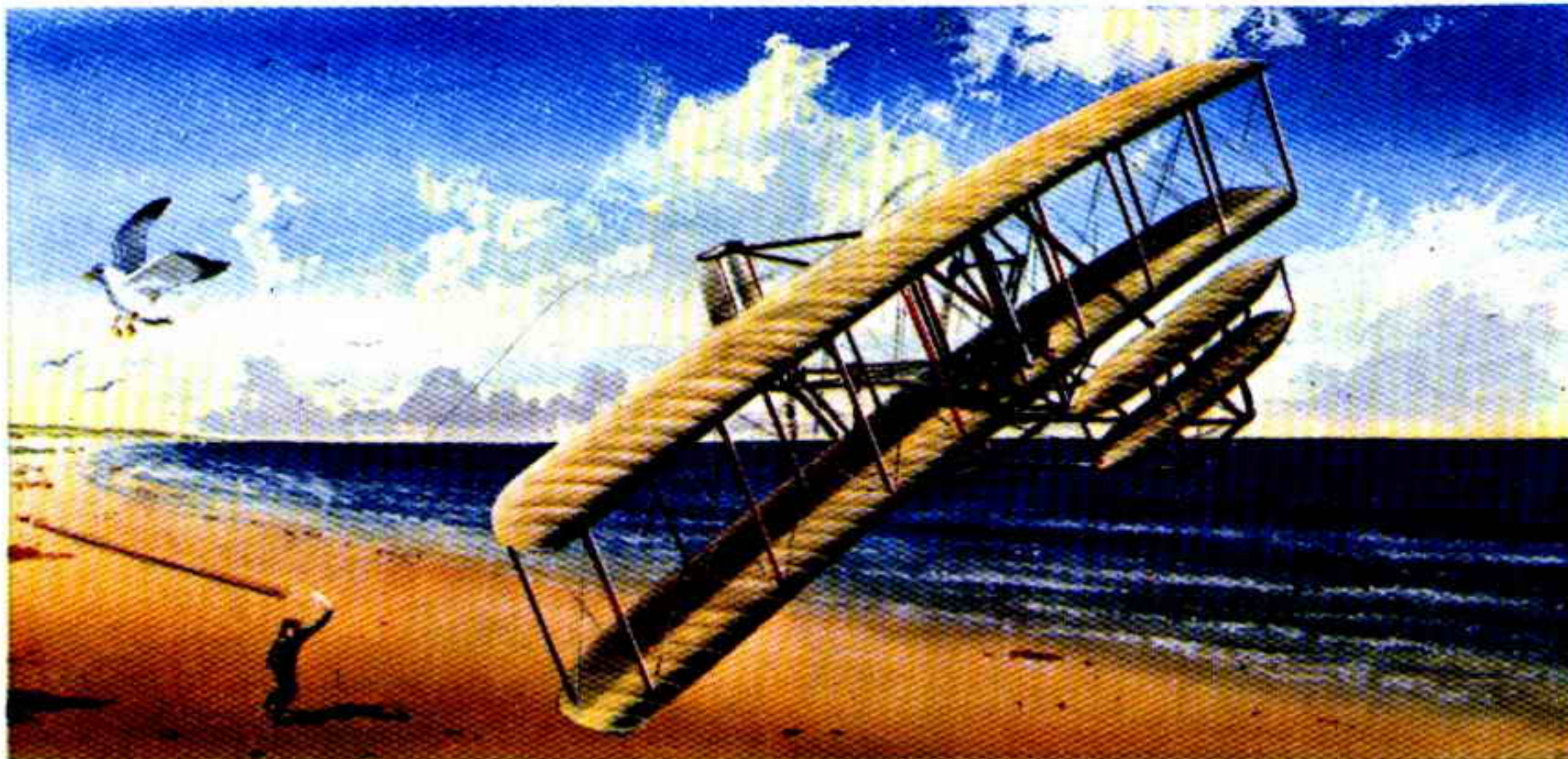
وكانَتِ المُشْكِلَةُ الكُبْرى في الطَّيرانِ بِمَرْكَبَةٍ تَحْمِلُ بَشَرًا هيَ تَوليدُ قُدرةٍ كافِيَةٍ لِرَفْعِ الطائرةِ ولِدَفْعِها إلى الأمامِ، ولَمْ يأتِ حَلُّ هذهِ المُشْكِلَةِ إلّا بَعْدَ اختِراعِ مُحَرِّكِ الاحتِراقِ الدّاخليِّ. بَدأَ الأخوانِ رايْت تَصْميمَ الطائراتِ بِمُحَرِّكاتِ البِنْزينِ مُسْتَرشِدَيْنِ بِخِبْرَتِهِما المُكْتَسَبَةِ مِنْ مُمارَسَةِ الطَيَرانِ الشِّراعيِّ. وتَحقَّقَ لهُما أوَّلُ طَيَرانٍ ناجحٍ في السَّابعَ عَشَرَ من ديسمبر (كانون الأول) ١٩٠٣ فحلَّقَتْ طائِرَتُهما في الهواءِ على ارتِفاعٍ يُناهِزُ ٣ أمتارٍ مُدَّةَ ١٢ ثانيةً قَطَعَتْ فيها مسافَةَ ٤٠ مِتْرًا. وكانَتِ الطائرةُ مَصنُوعَةً مِن قُماشِ القِنَّبِ والخَشَبِ حَوْلَ مُحَرِّكٍ (قُدْرَتُه ١٢ حِصانًا).

وكانَ الطَّيرانُ في أوَّلِ عَهْدِهِ يُعْتَبَرُ رِياضَةً خَطِرَةً وكانَتِ الطائراتُ تُبْنَى لِلْمُتَحَمِّسينَ لَها فَقَطْ. وفي الحَرْبِ العالَمِيَّةِ الأُولى استُخْدِمَتِ الطائراتُ في إسقاطِ القَنابِلِ ووَعَتِ الحُكوماتُ أهَمِّيَّتَها. وسَرْعانَ ما طَرأَتِ التَّحسيناتُ المُتَتالِيَةُ على الطائراتِ فاستُبْدِلَ بالهَيكَلِ الخَشَبيِّ القُماشيِّ المَفْتوحِ هَياكِلُ مَعْدِنِيَّةٌ مُقْفَلَةٌ صُنِعَتْ مِنَ الألُومِنيُوم خاصَّةً. وجُهِّزَ الهَيْكَلُ بمَقْعدَيْنِ أحدُهُما لِلطيّارِ وآخَرُ للرَّاكبِ الذي يُرافِقُه. وفي عامِ ١٩١٩ قامَ جُون ألْكُوك وآرثَر براون بأوَّلِ طَيَرانٍ عَبْرَ الأطْلَنْطي.

إلى أسْفَلُ
أُرفِيل رايْت (١٨٧١ – ١٩٤٨) وأخوه وِلْبُور (١٨٦٧ – ١٩١٢). بَعْدَ طَيَرانِهِما الناجحِ بِبِضعِ سَنَواتٍ تَنَبَّهَتِ الحكومةُ الأميركيَّةُ إلى أهمِّيَّةِ الطَّيَرانِ وإمكاناتِه الواسِعةِ. واستُقْبِلَ المُخترعانِ في فَرَنسا استِقْبالَ الأبطالِ. وكانَ أطْوَلُ طيَرانٍ حقَّقَهُ أُرفِيل قَد استَغرقَ ٧٥ دقيقةً على ارتِفاعٍ قارَبَ ١٠٠ مِتْرٍ.

أُرفِيل رايْت

وِلْبُور رايْت

إلى اليَسار
الطَّيرانُ التاريخيُّ الأوَّلُ الذي حَقَّقَه الأخَوان رايْت في السَّابعَ عَشَرَ من كانون الأوَّلِ (ديسمبر) ١٩٠٣. وقَدْ قاما بأرْبَعِ إقلاعاتٍ ناجحةٍ في ذلِكَ اليوم.

إلى أسفل

تحصل الطوافة (الهليكوبتر) على قوة الرفع اللازمة من أجنحتها الدوارة. ولاستغنائها عن الانطلاق بحركة أمامية لتوليد قوة الرفع هذه، تستطيع هذه الطائرة الإقلاع أو الهبوط عموديًّا. والطوافة مجهزة بمروحة مستقلة لتوليد الدفع اللازم للحركة الأمامية.

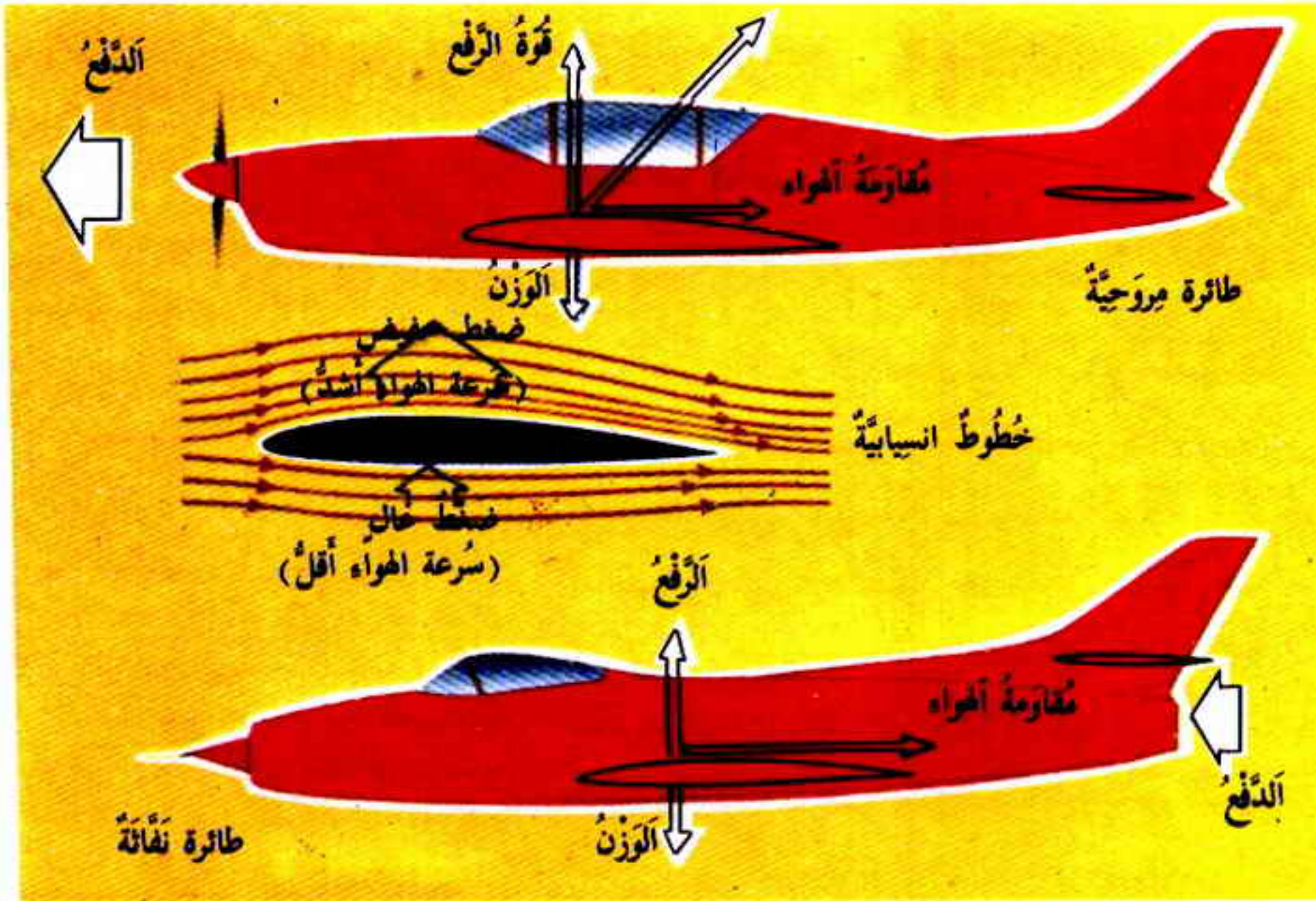
طوافة من طراز وستلند لنكس

وفي عام ١٩٣٤ افتتحت طيارة من طراز دي سي ٢ خطًّا جوِّيًّا لنقل الركاب بين إنكلترا وأستراليا، ثم أنشأت خطوط بان أميركان عام ١٩٣٩ أول خدمة نقل جوي عبر الأطلنطي.

وكانت الطائرات في الحرب العالمية الثانية أهم وسائل الحرب وأشدها فعالية. وأدت الحاجة خلال سنوات الحرب الخمس إلى إدخال تحسينات جمة على صناعة الطائرات كان من أهمها استخدام الطائرات الأحادية السطح بدل ثنائية السطح وتطوير المحرك النفاث. وقبل أن تنتهي الحرب كان كلا الفريقين يستخدمان المقاتلات النفاثة في سلاحها الجوي.

وبعد الحرب استخدمت كل هذه التحسينات والخبرات في بناء طائرات الركاب الحديثة. فطائرة البوينغ ٧٠٧ هي تطوير للقاذفة ب ٢٩ التي استخدمت لإلقاء القنبلة الذرية على هيروشيما (في اليابان).

في الطائرة الثابتة الجناحين ينتج الرفع من فرق ضغط الهواء على الجناحين الثابتين، بينما يتم الدفع الأمامي بالمروحة أو بالمحرك النفاث. وتحتاج هذه الطائرات إلى مدارج طويلة وسرعتها عند الهبوط عالية. وتطير الطائرات فوق الصوتية بسرعات تفوق سرعة الصوت (١٢٠٠ كيلومتر في الساعة) على مدى قريب من مستوى سطح البحر. وتستطيع طائرة **الكونكورد** الطيران بسرعة تعادل ضعفي سرعة الصوت.

فوق

القوى المؤثرة على الجناح في الطائرة المروحية والنفاثة. في أثناء انطلاق الطائرة تكون قوة الرفع على الجناح المقوس معادلة لوزن الطائرة. ويولد الاحتكاك بالهواء مقاومة تعمل ضد قوة الدفع. وينتج الدفع إما عن مروحة في مقدمة الطائرة أو كرد فعل للنفث المندفع في مؤخرتها.

إلى اليمين

شكل مقطع لأجزاء الطائرة يبين المعادن الفلزية الرئيسية المستخدمة في بناء هيكلها. وهذه تشمل بعض الفولاذ وكميات كبيرة من السبائك الخفيفة. ويستخدم التيتانيوم في المحرك النفاث لقوة احتماله وصموده للإجهاد ولدرجات الحرارة العالية.

إلى اليسار

وُلِدَ السِّير فرانْك وِيتِل عام ١٩٠٧ وتلقَّى دُرُوسَهُ العالِيَةَ في كمبرِدْج ثُمَّ التَحَقَ بِقُوَى الجوِّ البريطانيَّةِ، وبَدَأَ أبحاثَهُ في تطوير المُحرِّكِ النَّفَّاث. وفي الفترةِ بين ١٩٤٦ و ١٩٤٨ عمِلَ كَمُستشارٍ تِقنِيٍّ لِلدَّولَةِ في مَجالِ المُحرِّكاتِ.

فَوْقُ

يُمكِنُ تمثيلُ مَبْدَإِ الدَّفْعِ النَّفَّاثِ عَمَلِيًّا بإطْلاقِ بالُونٍ مَطَّاطِيٍّ مَنْفُوخٍ عَبْرَ الغرفَةِ. إنَّ رَدَّ الفِعْلِ النَّاتِجَ عَنِ انطِلاقِ الهواءِ من فُوَّهةِ البالُونِ هُوَ الذي يَدْفَعُ البالُونَ إلى الأمامِ باتِّجاهٍ مُضادٍّ لاتِّجاهِ انفِلاتِ الهواء.

إلى أَسْفَلُ

مَبْدَأُ المُحرِّكِ النَّفَّاث. يَدْخُلُ الهواءُ من مُقدَّمةِ المُحرِّكِ (إلى اليمين) فتَدفَعُهُ أرْياشُ الضَّاغِط إلى حُجُراتِ الاحتِراقِ. يَحْتَرِقُ الوَقودُ في الهواءِ المُنضَغِط ويَنْدفِعُ بِشِدَّةٍ نَحْوَ فُوَّهَةِ النَّفْثِ مُدَوِّرًا في طَرِيقِه أرْياشَ التُّورْبين. وهٰذا التُّورْبينُ بدَوْرِه يُدَوِّرُ الضَّاغِط، وفي بَعْضِ أنواعِ المُحرِّكاتِ **المِروحيَّةِ التُّورْبينيَّةِ** يُديرُ أيضًا مِرْوَحَةَ دفْعٍ.

المُحَرِّكاتُ النفاثَةُ

اِقْتَضَتْ ضَرُوراتُ القِتالِ في الحَرْبِ العالَمِيَّةِ الثَّانِيَةِ الحُصُولَ على طائراتٍ أَسْرَعَ، وكانَ مُحَرِّكُ رُولز رُويْس مِرلِن المِكْبَسِيُّ الذي زُوِّدَتْ بِهِ مُقاتِلاتُ سبِتْفايَر قَدِ اسْتَنْفَدَ إمكانِيَّاتِ التَّطْويرِ والتَّحسينِ. لِذا عَمَدَتِ الحكُومَةُ البريطانِيَّةُ إلى تَطويرِ المُحَرِّكِ النَّفَّاثِ الذي كانَ اخْتَرَعَهُ فرانْك وِيتِل عامَ ١٩٣٩. وما أَنْ حَلَّتْ نِهايَةُ الحَرْبِ حَتَّى كانَ لَدى دُوَلِ الحُلَفاءِ والمِحوَرِ كِلَيْهِما عِدَّةُ أنْواعٍ مِنَ المُقاتِلاتِ النَّفَّاثَةِ. ومُنْذُ ذلِكَ الحِينِ أَصْبَحَتِ المُحَرِّكاتُ النفَّاثَةُ مَصْدَرَ القُدْرةِ الرئيسيَّ لِمُعْظَمِ الطائراتِ الكَبيرةِ.

وتَسْتَمِدُّ الطائرةُ النفَّاثَةُ قُوَّةَ الدَّفْعِ مِنْ رَدِّ الفِعْلِ النَّاتِجِ مِنِ انطِلاقِ نافُورَةٍ غازِيَّةٍ عالِيَةِ السُّرْعَةِ يُوَلِّدُها احتِراقُ الوَقُودِ في المُحَرِّكِ.

فَلَوْ نَفَخْتَ بالُونًا مَطَّاطِيًّا بالهَواءِ ثُمَّ أَطْلَقْتَهُ تُلاحِظُ أَنَّ البالُونَ يَنْدَفِعُ في اتِّجاهٍ مُعاكِسٍ لاتِّجاهِ الهَواءِ المُنْطَلِقِ مِنْهُ. فانطِلاقُ الهَواءِ الذي نفَخْتَهُ في البالُونِ يُوَلِّدُ رَدَّ فِعْلٍ مُساوِيًا وَمُضادًّا لَه في الاتِّجاهِ. وفي المُحَرِّكِ النفَّاثِ تَتولَّدُ الغازاتُ العالِيَةُ الضَّغْطِ من احتِراقِ وَقُودٍ كالكيروسِينِ في سِلْسِلَةِ حُجُراتِ احتِراقٍ تُحيطُ بالمُحَرِّكِ، ويُسْحَبُ الهواءُ اللازِمُ لاحْتِراقِها مِنْ مُقَدَّمَةِ المُحَرِّكِ. وتُسْتَخْدَمُ الغازاتُ المُنطَلِقَةُ من حُجُرات الاحْتِراقِ في إدارةِ تُورْبينٍ ذِي أرْياشٍ قَبْلَ انفِلاتِها من فُوَّهَةِ النَّفْثِ في مُؤَخَّرَةِ المُحَرِّك. ويتَّصِلُ مِحْوَرُ التُّورْبينِ بِجهازٍ دَوَّارٍ في مُقَدَّمَةِ المُحَرِّكِ يَضْغَطُ بِدَوَرانِهِ الهواءَ الدَّاخِلَ إلى حُجُراتِ الاحتِراقِ، فَيُمكِنُ بذلِكَ حَرْقُ كمِّيَّاتٍ أكبَرَ منَ الوَقُودِ وتوليدُ كمِّيَّاتٍ أكْبَرَ منَ الغازِ. وفي المُحَرِّكِ النَّفَّاثِ **ذِي المِروحَةِ التُّورْبِينِيَّةِ** يَمْتَزِجُ بَعْضُ الهواءِ المَسحُوبِ مِنْ مُقَدِّمَةِ المُحَرِّكِ معَ الغازاتِ السَّاخِنَةِ المُنصَرِفَةِ في مُؤخَّرةِ المُحَرِّكِ.

تُبْنَى الطَّائراتُ النَّفَّاثَةُ الأُحادِيَّةُ المُحَرِّكِ، وهِيَ غالِبًا طائراتٌ عَسْكَرِيَّةٌ، حَوْلَ المُحَرِّكِ ذاتِه، أَمَّا الطَّائراتُ الأَكبَرُ فَقَدْ تَحوي مُحَرِّكَيْنِ أَوْ ثلاثَةً أَوْ أربعةً أَوْ أكثَرَ مُعَلَّقةً في ظُروفٍ تَحْتَ الجَناحَيْنِ أَوْ مُتَّصِلَةً بِمُؤَخَّرةِ الجِسْمِ أَوْ مُكَوِّنَةً قِسْمًا من الذَّيْلِ.

والواقِعُ إنَّ الطَّيَرانَ فَوْقَ الصَّوْتِيِّ ما كانَ مُمْكِنًا بِدُونِ المُحَرِّكاتِ النفَّاثَةِ، فَطائِرةُ **الكونْكورد** مَثَلًا

نَفّاثة ضَخْمَةٌ (جَمْبو) بُوينغ ٧٤٧

مُجَهَّزَةٌ بمُحَرِّكاتٍ نَفّاثَةٍ مُطَوَّرَةٍ تُمَكِّنُها من الانطِلاقِ بِسُرعَةٍ تزيدُ قليلًا عَلى ضِعْفَي سُرْعَةِ ٱلصَّوْتِ.

أَمّا أَبْسَطُ أَنْواعِ ٱلمُحَرِّكاتِ ٱلنَّفّاثَةِ فهُو **ٱلنَّفّاثُ ٱلتَّضاغُطِيُّ** وهُو لا يَحْوِي أَجْزاءً مُتَحَرِّكَةً بل يَتأَلَّفُ أَساسًا مِنْ أُنْبُوبٍ طَوِيلٍ، وهٰذا سَبَبُ تَسْمِيَتِه أَحْيانًا بالمَصْرِفِ الطّائِرِ. ويَعْمَلُ وسَطُ ٱلأُنبوبِ كَحُجْرَةِ ٱحتِراقٍ ونهايَتُه كَفُوَّهَةِ نَفْثٍ. وفي أَثناءِ ٱنطِلاقِ ٱلمُحَرِّكِ ٱلأُنبُوبِيِّ عَبْرَ الهواءِ يُدْفَعُ ٱلهواءُ إلى حُجْرَةِ الاحْتِراقِ حَيْثُ يُحْقَنُ ٱلوَقُودُ. وبٱحْتِراقِ ٱلوَقودِ ٱلمَحْقُونِ في ٱلهواءِ ٱلمُنْدَفِعِ تَتَوَلَّدُ غازاتٌ ساخِنَةٌ تَنْفَلِتُ مِنْ فُوَّهَةِ ٱلنَّفْثِ بِسُرْعَةٍ أَعْلَى مِنْ سُرْعَةِ ٱلهَواءِ ٱلدّاخِلِ، وهٰذا يُنْتِجُ قُوَّةَ دَفْعٍ تَجْعَلُ ٱلأُنبوبَ ٱلنَّفّاثَ يَنْطَلِقُ عَبْرَ ٱلهواءِ. فالمُحَرِّكُ ٱلنَّفّاثُ ٱلتَّضاغُطِيُّ يَعْمَلُ فَقَطْ حِينَما يَكُونُ هُو نَفْسُه مُنْطَلِقًا بِسُرعَةٍ.

إلى ٱليمين

تَحْمِلُ طائرةُ ٱلجَمْبو ٱلنَّفّاثَةُ (بُوينغ ٧٤٧) بِضْعَ مِئاتٍ مِنَ ٱلرُّكّابِ، وتَسْتَخْدِمُها عِدَّةُ خُطُوطٍ عالَمِيَّةٍ لِلْمَسافاتِ ٱلطويلَةِ. ومُحَرِّكاتُ هٰذِهِ ٱلطائرةِ ٱلنَّفّاثةِ ٱلأَرْبَعَةُ مُتَّصِلَةٌ بٱلجانِبِ ٱلسُّفْلِيِّ لِلْجَناحَيْنِ.

قارِبٌ نافُورِيُّ ٱلدَّفْعِ

يمينًا و إلى أَسْفَلُ

يَسيرُ ٱلقارِبُ ٱلنافُورِيُّ ٱلدَّفْعِ بِقُوَّةِ رَدِّ ٱلفِعلِ ٱلنّاتِجِ عَنِ ٱنطِلاقِ ٱلبُخارِ عِنْدَما يَغْلِي ٱلماءُ في ٱلعُلْبَةِ ٱلمَعْدِنِيَّةِ ٱلمُثَبَّتَةِ فَوقَهُ، وٱلّتي تُسَخَّنُ بِشَمْعَةٍ فِيهِ.

تَعْمَلُ نَوافِيرُ ٱلبُخارِ على تَدْوِيرِ هٰذِهِ ٱلدَّوّامَةِ. اِستَعْمِلْ أَسْلاكًا لِتَعْلِيقِ النفّاثاتِ ٱلمِرْجَلِيَّةِ ٱلصَّغيرة ووازِنْها بِعِنايَةٍ حَوْلَ قُرْصٍ مَعْدِنِيٍّ رَقيقٍ. زَخْرِفِ ٱلدَّوّامَةَ بِرقائِقِ ٱلأَلُومِنْيُوم لا ٱلوَرقِ وضَعْها فَوْقَ صِينِيَّةٍ مَعْدِنِيَّةٍ واسِعَةٍ كَتَدْبيرٍ ٱحتِرازِيٍّ.

قُرصٌ مَعْدِنِيٌّ أَوْ كَرْتُونِيٌّ

دَبُّوسٌ في فِلِّينَةٍ

سِلْكٌ

مِرجلٌ صغيرٌ من عُلْبَةِ دِهانٍ مَعدنيةٍ

دَوّامَةٌ بُخارِيَّةٌ

عُلْبَةٌ مَعْدِنِيَّةٌ

شمعةٌ أو قنديلٌ صَغيرٌ

قِنِّينَة لَدائِنِيَّةٌ مُعَبَّأَةٌ بٱلرَّمْلِ

مُحَرِّكُ نَفْثٍ تضاغُطِيٌّ

مَدْخَلُ ٱلوَقُودِ

غازٌ مُنْفَلِتٌ

مَأْخَذُ ٱلهواءِ

مِنْطَقَةُ الاحتراقِ

الدَّفْعُ

إلى ٱليمين

مُحَرِّكٌ نَفّاثٌ تَضاغُطِيٌّ. لا يَحوي هٰذا ٱلمُحَرِّكُ أَجْزاءً مُتَحَرِّكَةً، ولا يَعْمَلُ إلّا حِينَما ٱلأُنبُوبُ مُنطَلِقٌ عَبْرَ ٱلهواءِ بِسُرعَةٍ تَكفِي لِتَوْلِيدِ ضَغْطٍ عالٍ في جُزْئِه ٱلأَوْسَطِ. وفي هٰذا ٱلجُزءِ الوَسَطِيِّ ٱلأَوْسَعِ قُطْرًا تَبْطُؤُ سُرْعَةُ ٱلهَواءِ ويَزْدادُ ضَغْطُهُ. ويُحْقَنُ الوَقُودُ ويُحْرَقُ على ضَغْطٍ عالٍ فتَنْدَفِعُ غازاتُ الاحتِراقِ عَبْرَ ٱلفُوَّهَةِ ٱلخَلْفِيَّةِ مُوَلِّدَةً رَدَّ فِعلٍ قوِيًّا. وقد اسْتُخْدِمَتِ ٱلصواريخُ المُعَزَّزةُ بمُحَرِّكاتِ نَفْثٍ تضاغُطِيَّةٍ في بَعْضِ ٱلقَذائفِ ٱلمُوَجَّهَةِ.

اَلْقُدْرَةُ وَالْمُوَلِّداتُ

ظَلَّتِ النّاعُورةُ وَالطّاحُونةُ الهوائِيَّةُ على مَدَى آلافِ السِّنينَ مَصدَرَ القُدرةِ الميكانيكيَّةِ الوَحيدَ لِلإِنْسان. وتتأَلَّفُ الناعورةُ من دُولابٍ كَبيرٍ مُثَبَّتٍ على مِحورٍ فَوْقَ مَجْرًى مائيٍّ. وإطارُ الدُّولاب عَريضٌ تَمتَدُّ عَبْرَهُ البَرامِقُ المِحْوَرِيَّةُ مُكَوِّنَةً المَغاديفَ المُحيطيَّةَ العريضَةَ. فعندما يَضرِبُ الماءُ الجاري المَغاديفَ تَدورُ النّاعُورةُ ويَدورُ مَعها حَجَرُ الرَّحَى المُتَّصِلُ بالمِحوَرِ نَفْسِه. وتَعْمَلُ طاحونَةُ الهواءِ بِشكْلٍ مُماثِلٍ مُستَخدِمَةً قُوَّةَ الرِّياحِ لِتَدْويرِ أَرْياشِها الشراعِيَّةِ المُثَبَّتَةِ في جهازٍ دَوّارٍ يَنْقُلُ الحركَةَ بِدَوْره إلى عَمُودِ إدارةِ الطّاحُونِ.

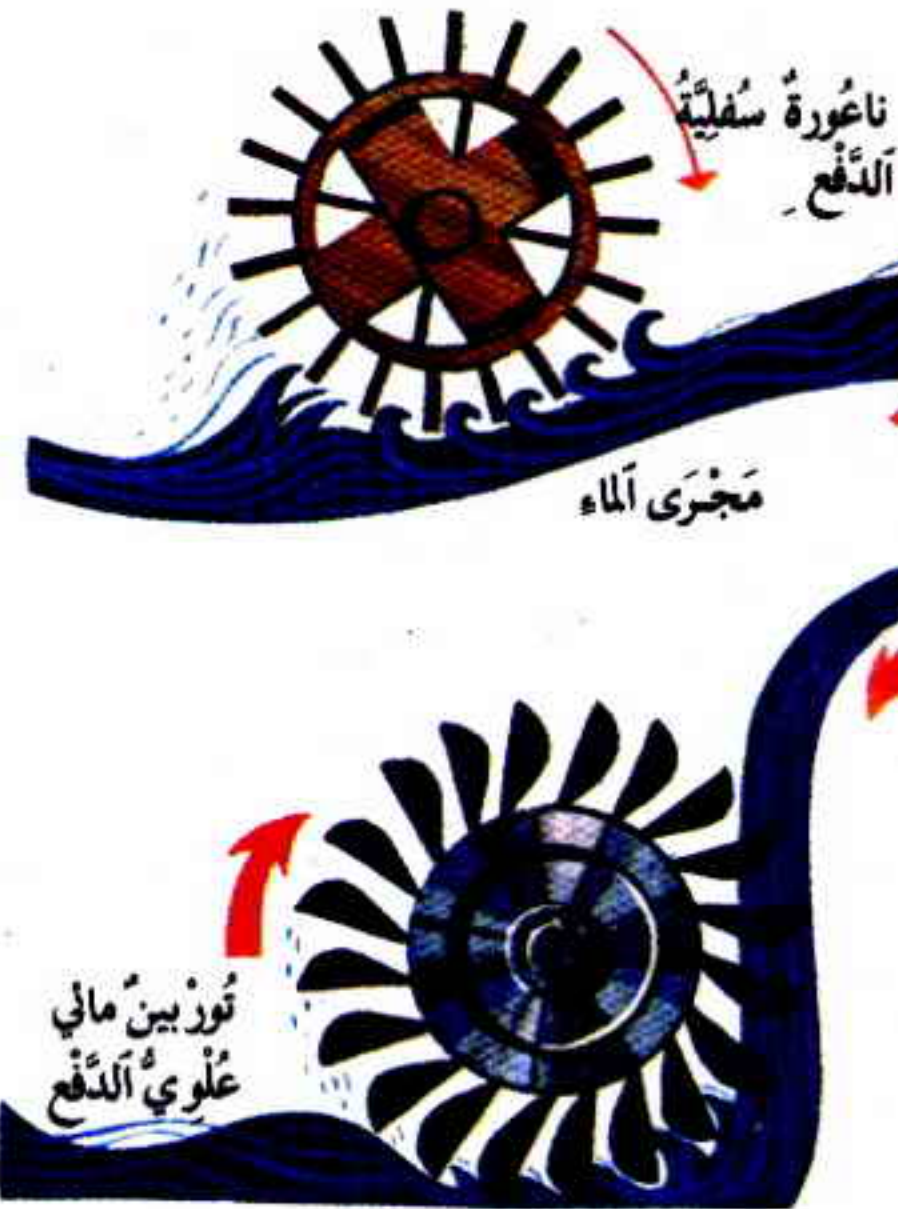
وفي القَرنِ التاسِعَ عَشَرَ أُدخِلَتْ تَحسيناتٌ على النّاعُورةِ زادَتْ مِن فاعلِيَّتِها كَثيرًا فَأَصبحَتْ نَوعًا من التُّورْبينِ المائيِّ. وجُعِلَتِ المَغاديفُ المُحيطِيَّةُ في دُولابِ هٰذا التُّوربينِ قادُوسِيَّةَ الشَّكلِ تَتَلَقَّى الماءَ السّاقِطَ مِنْ عَلٍ فَتُديرُ الدُّولابَ بِثِقَلِ مائِها. وبَيْنَما تُفْرِغُ هٰذه القَوادِيسُ ماءَها في وَضْعِها السُّفْليِّ تَكونُ قَوادِيسُ مُحيطيَّةٌ أخرى في دَورِ الهُبوط. وحِيْنَ اكتُشِفَتِ الطّاقةُ الكَهْرَبائِيَّةُ استُخدِمَتِ التُّوربيناتُ المائيَّةُ لِتَوليدِها لِلإنارةِ والحرارةِ والقُدرةِ، فَسُمِّيت **بالمولِّداتِ الكَهْرَمائيَّة**. ومعَ أَنَّ إنشاءَ مَحطَّاتِ تَوليدِ الكَهْرَباءِ بالقُدرةِ المائيَّةِ أَعْلَى تَكْلِفَةً من مَثِيلاتِها المُدارةِ بالفَحْمِ أَوِ الزَّيتِ إلّا أَنَّ تَشغيلَها أَرْخَصُ كَثيرًا لِعدمِ حاجَتِها إلى الوَقُودِ.

وَقدْ أَخذَت بُلدانٌ كَثيرةٌ بإنشاءِ مِثْلِ هٰذه المَحطّاتِ الكَهْرَمائيَّة فَشَيَّدَتْ لَها السُّدُودَ لِحصْرِ الماء وتَوجيهِهِ نَحْوَ تُورْبيناتِ المُوَلِّدات. ومن أَشْهَرِ هٰذه المَشاريعِ في العالَمِ العَرَبيِّ سَدُّ أَسْوانَ في مِصْرَ وسَدُّ الفُراتِ في سُورِيَا وسدُّ دُوكانَ في العِراق وسَدُّ القَرْعَون في لُبنان.

ولا تُؤَلِّفُ الطّاقَةُ الكهربائِيَّةُ المُنْتَجَةُ بالمحطاتِ الكهرمائيَّةِ إلّا جُزْءًا يَسيرًا مِنَ الطاقةِ الكَهربائيَّة المُسْتَهْلَكَةِ في العالَم. فَمُعْظَمُ هٰذه الطاقةِ تُنْتِجُه مَحطّاتٌ حَراريَّةٌ يُحْرَقُ فيها الفَحمُ أَو الزَّيْتُ لِتوليدِ البُخار، ويُسْتَخْدَمُ البُخارُ في تدويرِ تُوربيناتِ المُوَلِّداتِ الكَهْرَبائيَّة.

أَبْسَطُ أَنْواعِ المُوَلِّداتِ الكَهربائيَّة هُو الدِّينامُو الذي اخْتَرَعَهُ فارادِي عامَ ١٨٣٠. ويتأَلَّفُ من قُرْصٍ نُحاسيٍّ يُدَوَّرُ بين قُطْبَي مِغْنَطيس، فيتولَّد فيهِ تيّارٌ كَهْرَبائيٌّ عِنْدَما يَقْطَعُ القُرصُ خُطُوطَ القُوَّةِ في مَجالِ المِغْنَطيس. وتعمَلُ المُوَلِّداتُ الحديثَةُ في مَحطّاتِ تَوليدِ القُدرة حَسَبَ المَبْدَأِ ذاتِه معَ استِبْدالِ المِلَفّاتِ السِّلْكِيَّةِ بالقُرصِ النُّحاسيِّ

فَوْقُ

مَبْدَأُ عَمَلِ المحطةِ الكَهْرَمائيَّةِ. يُجَمَّعُ الماءُ في خَزّانٍ بإنشاءِ سَدٍّ يَحْصُرُ مَجرى الماء في نُقطةِ انحدارٍ طَبيعيٍّ أَوْ قُرْبَ مَسْقَطٍ مائيٍّ. يُديرُ الماءُ السّاقِطُ تُورْبينًا يتَّصِلُ مِحورُه بالمُولِّدِ الكهربائيِّ.

فَوْقُ

التُّوربينُ المائيُّ. أَبْسَطُ أنواعِ التُّوْرْبينِ المائيِّ هُوَ النّاعُورَةُ السُّفْلِيَّةُ الدَّفْعِ حَيْثُ يَضرِبُ الماءُ الجاري مَغاديفَ النّاعُورَةِ الغاطِسَةِ فيه فَيُديرُها. أمّا في التُّوربينِ العُلْوِيُّ الدَّفْعِ فَيَسْقُطُ الماءُ في مَغاديفَ قادُوسِيَّةٍ فيعمَلُ ثِقَلُ الماءِ في القَوادِيسِ على تَدْويرِ التُّوربينِ (العَنَفَةِ). وهٰذا التُّورْبينُ يَتَطَلَّبُ فَرْقًا في مُسْتَوَى الماءِ الجاري قَبلَ السُّقُوطِ وبَعْدَهُ.

إلى اليسار

لِصُنْعِ طاحُونَةِ هَواءٍ بَسيطةٍ تَحتاجُ إلى قِطعَةِ وَرَقٍ مُرَبَّعةٍ طُولُ ضِلْعِها ١٥ سَنْتيمترًا وإلى مِسْمارٍ وَعُودٍ خَشَبيٍّ. اِقطَعِ الوَرَقَةَ باتِّجاه القُطْرَيْنِ إلى حَوالى ثُلُثَيِ المسافَةِ عَنِ المركزِ كَما في الشَّكلِ أ. اِطْوِ القُرْنَةَ ز نَحْوَ المَركزِ كَما في الشَّكْلِ ب وافعَلِ الشَّيْءَ نَفْسَهُ بالقُرَنِ س، ص، ع. اغرِزِ المِسمارَ عَبْرَ المركزِ وأطرافِ القُرَنِ كَما في الشَّكلِ جـ وثَبِّتِ المِسْمارَ في طَرَفِ العُودِ الخَشَبيِّ.

فَوق

دِينامُو فارادِي. يَقْطَعُ ٱلقُرْصُ ٱلنُّحاسِيُّ في أثناء دَوَرانِهِ خُطوطَ ٱلمجالِ ٱلمِغْنَطيسيِّ فيَتولَّدُ تَيَّارٌ كَهربائيٌّ فيه. ويَنْتَقِلُ هٰذا التيَّارُ مِنَ ٱلقُرْصِ بِواسِطَةِ سِلكَيْنِ مَعْدِنيَّيْنِ مُتَّصِلَيْنِ بِغَلْفانومِترٍ يَكْشِفُ عَن وُجُودِ ٱلتيَّارِ الكَهربائيِّ.

مَحطَّةٌ كَهْروحَرارِيَّةٌ (مَحَطَّةٌ حَرارِيَّةٌ لِتَوليدِ ٱلقُدْرَةِ)

ومِغْنَطيسٍ كَهربائيٍّ بِٱلمِغنطيسِ ٱلنَّضويِّ. وتُعرفُ ٱلمِلَفَّاتُ ٱلثابِتَةُ (في ٱلمِغْنَطيسِ ٱلكهربائيِّ) **بِٱلعُضْوِ ٱلسَّاكِنِ** وٱلمِلَفَّاتُ ٱلمتحرِّكةُ **بالعُضْوِ ٱلدوَّارِ**. وفي دِينامُو ٱلدرَّاجَةِ، وهُوَ مُوَلِّدٌ كهربائيٌّ صَغيرٌ، تُدَوِّرُ عَجَلَةُ ٱلدرَّاجَةِ مِلَفًّا سِلْكِيًّا داخِلَ قُطْبَيْ مِغنطيس.

وبالإضافةِ إلى مَصْدَرَيِ ٱلطاقةِ ٱللَّذَيْنِ سبَقَ ذِكْرُهُما، وهُما أَوَّلًا القُوَّةُ ٱلطبيعيَّةُ لِلرِّياحِ وٱلماءِ الجاري وثانِيًا ٱلفحمُ وٱلزَّيْتُ ٱلناشئانِ منْ بَقايا ٱلنباتِ والحيوانِ مُنْذُ مَلايينِ ٱلسِّنين، نَذْكُرُ ٱلطاقةَ الشمسيَّةَ ٱلَّتي هِيَ ٱلمَصْدَرُ الأَصْليُّ لِنَوْعَيِ ٱلطّاقَةِ هٰذَيْنِ والَّتي يحْتَمَلُ أَنْ يكُونَ لها شأنٌ عَظيمٌ في ٱلمُسْتَقْبل.

ومِن مَصادِرِ ٱلطَّاقَةِ ٱلَّتي أُتيحتْ للإنسانِ مُؤَخَّرًا **الطاقةُ ٱلنَّوَوِيَّةُ**. وتَعْمَلُ بَعْضُ مَحطَّاتِ توليدِ ٱلقُدْرَةِ حالِيًّا بِٱلحرارةِ الناتِجةِ عن ٱنشِطارِ أَعدادٍ كَبيرةٍ مِنْ ذرَّاتِ ٱليُورانيُوم. وهٰذا ٱلانشِطارُ ٱلنَّوَوِيُّ شَبيهٌ بما يَحْدُثُ في ٱلقُنْبلَةِ ٱلذَّرِّيَّةِ لكِنَّه هُنا يُضْبَطُ بِعِنايَةٍ وبِمِقْدارٍ بِحَيْثُ لا يَحْدُثُ ٱنفِجارٌ. وتسْتَخْدَمُ ٱلحرارةُ ٱلنَّاتِجةُ عنِ ٱلانْشِطارِ في توليدِ ٱلبُخارِ وإدارةِ ٱلتُّورْبيناتِ تمامًا كما تُسْتَخْدَمُ ٱلحرارةُ الناتِجةُ مِنَ ٱلفحمِ أَوِ ٱلزَّيْتِ في مَحطَّاتِ توليدِ ٱلقُدرةِ.

فَوْقُ

مَبدأُ عَمَلِ ٱلمَحطَّةِ الكَهْروحَرارِيَّةِ. يُحْرَقُ ٱلفحمُ أَوِ ٱلزَّيْتُ لِتَسْخينِ ٱلمِرْجَلِ وتَوليدِ ٱلبُخارِ. وَٱلبُخارُ ٱلناتِجُ يُديرُ تُورْبينًا يَتَّصِلُ مِحْوَرُه بمُوَلِّدٍ كهربائيٍّ.

إلى ٱليمين

تُسْتَخْدَمُ ٱلخلايا ٱلشَّمْسيَّةُ في ٱلسُّفُنِ ٱلفَضائيَّةِ لِتَزويدِها بِٱلطَّاقةِ. تحوِّلُ ٱلخلايا ٱلشَّمْسيَّةُ ضَوءَ ٱلشمسِ مُباشَرَةً إلى طاقةٍ كَهْرَبائيَّةٍ. وتُسْتَخْدَمُ هٰذه ٱلخلايا في ٱلمناطِقِ ٱلحارَّةِ لِتزويدِ ٱلمنازلِ بِٱلماءِ السَّاخِنِ، وهُنالِكَ حالِيًّا مَشروعٌ لِمَدينةٍ نَمُوذَجِيَّةٍ، في ٱلمملكةِ العربيَّةِ السُّعوديَّةِ، تَعْمَلُ كافَّةُ مَرافِقِها ٱلحراريَّةِ والكهربائيَّةِ بِٱلطاقةِ ٱلشَّمْسِيَّةِ.

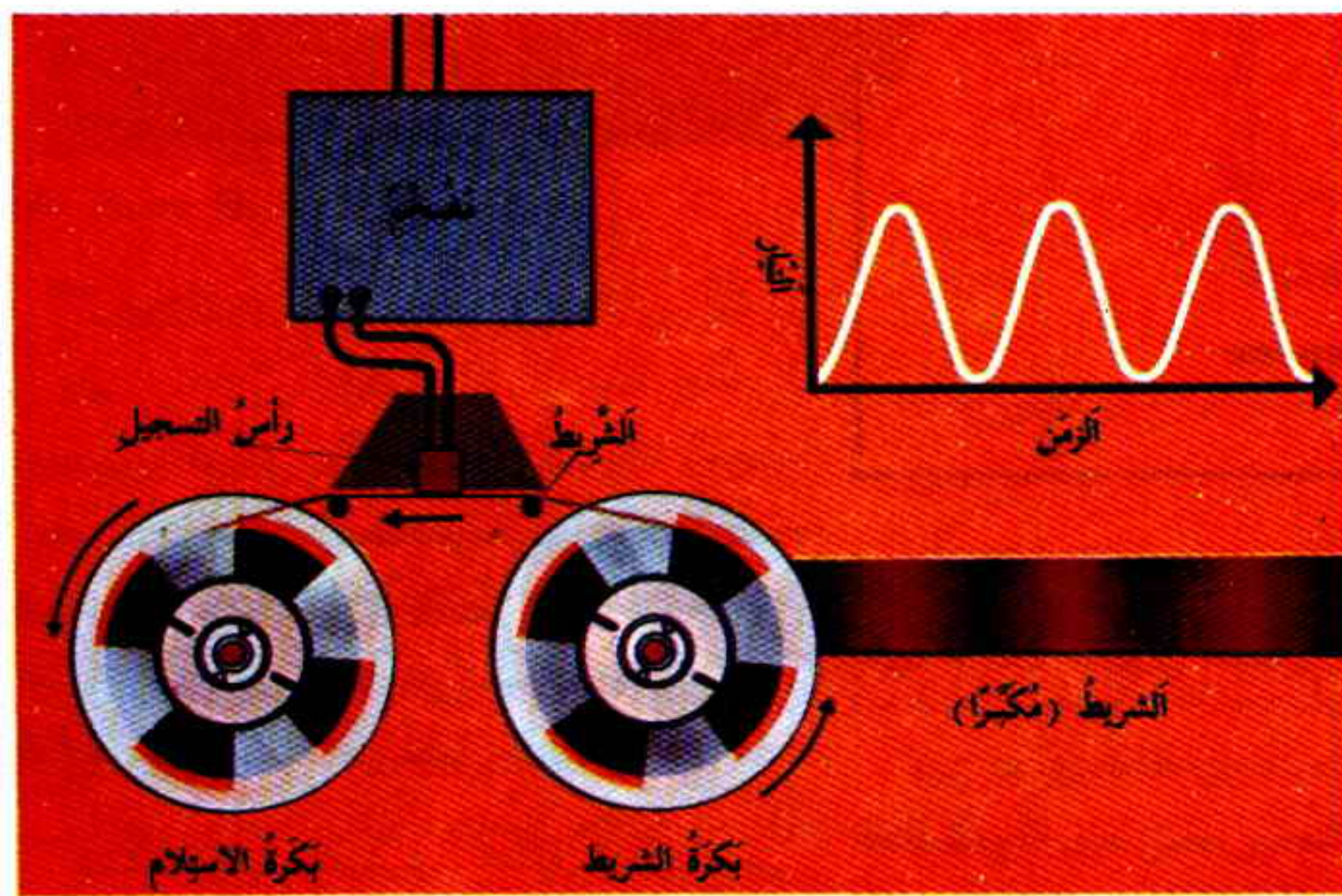
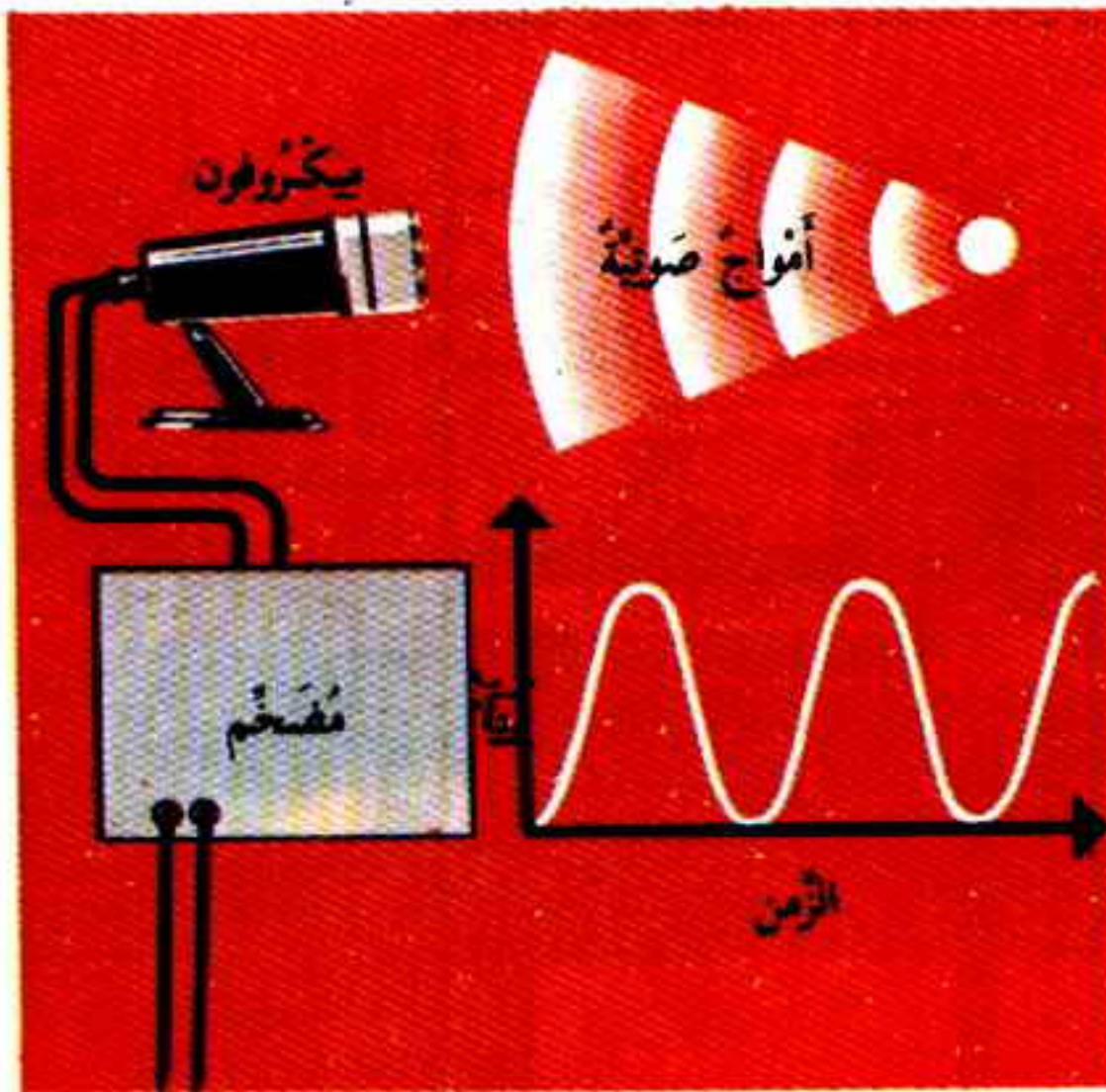
اَلمُسَجِّلاتُ اَلشَّرِيطِيَّةُ

اَلمُسجِّلَةُ اَلشَّريطِيَّةُ هي إحْدَى اَلتَّطبيقاتِ اَلعمليَّةِ على اَلمغْنَطيس واَلكَهْرَمِغْنِيطِيَّةِ. وقَدْ تَمَّ تَحْقيقُ اَلتسجيلِ اَلشَّريطيِّ اَلأَوَّلِ على يَدِ اَلمُخْتَرِعِ اَلدَّنِماركيِّ فالْديمار بُولْسِن، وكانَ يَسْتَخْدِمُ مِكَبًّا من اَلأَسْلاكِ اَلفُولاذيَّةِ مَكانَ الشَّريطِ في اَلمُسَجِّلَةِ اَلحَديثَةِ. وقَدْ بَدَأَ اَسْتِخْدامُ الأَشْرِطَةِ لِلتَّسجيلِ في اَلعِشْرينيَّاتِ مِنَ اَلقَرْنِ اَلحاليِّ.

يَتأَلَّفُ شَريطُ اَلتَّسجيلِ مِن شَريحَةٍ لَدائنيَّةٍ (بلاسْتِيكيةٍ) مَطْليَّةٍ بمَسْحُوقِ أُكسيدِ الحَديدِ اَلمغنَطيسيِّ اَلخَواصِّ. وَتَسْتَخْدِمُ اَلمُسَجِّلَةُ مغْنَطِيسًا لِتَسْجيلِ اَلأَصْواتِ على اَلشَّريطِ وذلِكَ بِتَحويلِ اَلصَّوتِ أَوَّلًا إلى إشاراتٍ كَهْرَبائيَّةٍ بواسطَةِ المِيكْرُوفُون (اُنظُر صفحة ١٥٥). في اَلميكْرُوفون تَتَحَوَّلُ تَمَوُّجاتُ اَلهواءِ اَلتضاغُطِيَّةُ اَلتي تؤلِّفُ اَلصوتَ إلى تيَّارٍ كَهْرَبائيٍّ مُتَغايرٍ يُنْقَلُ بالأَسْلاكِ إلى **اَلرَّأْسِ اَلمُسَجِّلِ** حَيْثُ تُسَجَّلُ اَلإشاراتُ الكَهرباتيَّةُ على اَلشَّريطِ اَلمارِّ عَبْرَه بِسُرعَةٍ ثابِتَةٍ.

ويتأَلَّفُ اَلرَّأْسُ اَلمُسَجِّلُ من طَوْقٍ حَديديٍّ ذي فَجْوَةٍ ضَيِّقَةٍ مَلْفُوفٍ حَوْلَهُ لَفَّاتٌ مُتَعدِّدَةٌ من اَلسِّلْكِ لِجَعْلِهِ مغْنَطيسًا كَهْرَبائيًّا. وبِسَرَيانِ اَلتَّيَّارِ الكهربائيِّ في تِلْكَ اَللَّفَّاتِ يَتَوَلَّدُ مَجالٌ مِغْنَطيسيٌّ عَبْرَ اَلفَجْوَةِ بَيْنَ قُطبَي اَلمِغْنَطيسِ اَلكهربائيِّ. وبِمُرورِ اَلشَّريطِ قَريبًا جدًّا من هٰذِهِ اَلفَجْوَةِ يَتَمَغْنَطُ أُكْسيدُ اَلحديدِ فَوْقَه بتأثيرِ اَلمجالِ اَلمِغْنَطيسيِّ لِلرَّأْسِ اَلمُسَجِّلِ. فَحِينَ يَسْري تَيَّارٌ قَويٌّ يَشْتَدُّ اَلمَجالُ اَلمغنطيسيُّ وتَشْتَدُّ بِالتَّالي مَغْنَطَةُ اَلشَّريط، وحِينَ يَخِفُّ اَلتَّيَّارُ يَضْعُفُ اَلمجالُ وتَضْعُفُ مَغْنَطَةُ

إلى اَليمين

يَلْتَقِطُ الميكْرُوفونُ اَلأَمْواجَ اَلصَّوْتيَّةَ ويُحَوِّلُها إلى تيَّارٍ كَهربائيٍّ مُتغايرٍ. ويُرينا الرسْمُ اَلبيانيُّ تَغايُرَ اَلتيارِ بالنِّسبةِ للزَّمَنِ صُعودًا وهُبُوطًا بِشَكْلٍ دَوريٍّ بَيْنَما أَمْواجُ اَلصَّوْتِ تَهُزُّ اَلميكروفونَ. ويَعْمَلُ اَلمُضَخِّمُ على تَقْوِيَةِ التيَّارِ المُتغايرِ وتَضْخيمِهِ.

فوقُ

يَتَغيَّرُ اَلمجالُ اَلمَغْنطيسيُّ عَبْرَ قُطْبَيْ رأْسِ اَلتَّسجيلِ بِتَغَيُّرِ اَلتيَّارِ اَلمارِّ عَبْرَ لَفَّاتِهِ، فيَشْتَدُّ بازْديادِهِ ويَضْعُفُ بانْخفاضِهِ. ويُمَغْنِطُ اَلمجالُ أُكسيدَ اَلحَديدِ على الشَّريطِ بِنِسَبٍ مُتغايرةٍ كما نَرى على الشَّريطِ المُكَبَّرِ في الشَّكلِ حَيْثُ تَبدُو اَلمناطِقُ الأَشَدُّ تَمَغْنُطًا باللَّوْنِ اَلأَحْمَرِ والأَقَلُّ تَمَغْنُطًا باللون اَلأَسْمَرِ.

إلى اليسار

يُبَيِّنُ اَلرَّسمُ اَلجزءَ اَلفعّالَ داخِلَ اَلرَّأْسِ اَلمُسَجِّلِ اَلمُؤَلَّفِ من طَوْقٍ ذي فَجْوةٍ ضَيِّقَةٍ يَلُفُّهُ مِلَفٌّ من اَلسِّلْكِ. يُوَلِّدُ اَلتيارُ اَلساري في اَلمِلَفِّ مجالًا مغْنَطيسيًّا عَبْرَ اَلفَجوةِ اَلتي عَرْضُها حوالَى ٠,٠٠٥ مليمِتْرًا وبِمُرورِ اَلشَّريطِ قَريبًا جدًّا من اَلفَجْوةِ يَتَمَغْنَطُ حَسَبَ قُوَّةِ اَلتيارِ. ويَعْمَلُ رأسا الاَستِعادة والمَسْحِ حَسَبَ المَبْدأِ نَفْسِهِ.

إلى اليسار

عِنْدَ استِعادَةِ اَلتَّسجيلِ تَحْدُثُ عَمليَّةٌ مُعاكِسَةٌ، فَبِمُرورِ اَلشَّريطِ اَلمُسَجَّلِ عَبْرَ رأْسِ الاَستِعادةِ تَتَوَلَّدُ تيَّاراتٌ واهِنَةٌ مُتَغايِرَةٌ في مِلَفِّهِ، وهٰذه اَلتيَّاراتُ تُغَذَّى بَعْدَ تَضْخيمِها إلى مِجْهارٍ يُعيدُ اَلصَّوْتَ اَلأَصْليَّ.

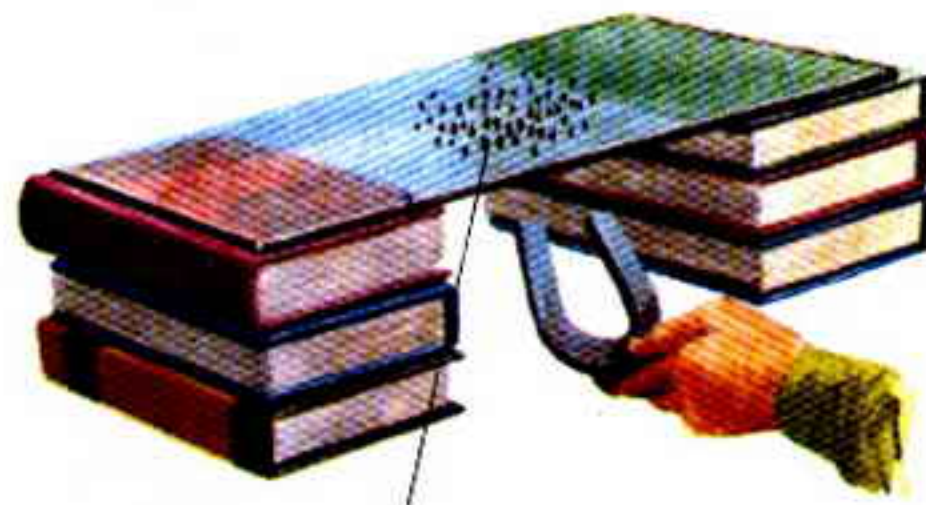
اَلشَّرِيط ، وهكَذا تُسَجَّلُ تَغَيُّراتُ اَلتَّيّارِ على الشَّريطِ .

وعِنْدَما يُعادُ تَدْويرُ اَلشريطِ لِسَماعِهِ يُمَرُّ الشَّريطُ على رأْسٍ مُماثِلٍ اَسمُهُ **رأسُ الاَستِعادة** بِالسُّرعَةِ نَفْسِها الّتي أُمِرَّ بها عِنْدَ اَلتسجيل . وفي أثْناءِ مُرورِ اَلشَّريطِ تُوَلِّدُ أَجْزاؤُه اَلمُمَغْنَطَةُ مَجالًا مغْنَطيسِيًّا واهِنًا مُتَغايرًا في رأسِ الاَستِعادةِ ، وهٰذا المَجالُ يُوَلِّدُ بدَوْرِه تيّارًا كَهْرَبائيًّا واهِنًا ومُتَغايرًا أَيضًا في لَفّاتِ رأْسِ الاَستِعادةِ . وعِنْدَ تَضْخيمِ هٰذا اَلتَّيّارِ بواسطةِ مُضَخِّمٍ كَهربائيٍّ نَحْصُلُ مِن رأْسِ الاَستِعادةِ على تيّارٍ كهربائيٍّ مُتَغايرٍ مُطابِقٍ تَمامًا لِلتَّيّارِ اَلذي أَحْدَثَهُ اَلميكْرُوفونُ خلالَ عَمليَّةِ اَلتَّسْجيل . وتَتِمُّ اَستِعادةُ اَلصَّوْتِ اَلمُسَجَّلِ أَصْلًا عِنْدَ إمرارِ هٰذا اَلتّيارِ في مِجْهارِ اَلجِهاز .

ومِنْ مِيزاتِ اَلمُسَجِّلَةِ اَلشَّريطِيَّةِ أَنَّ اَلشَّريطَ يُمكِنُ مَسْحُهُ واَستِخْدامُه مُجَدَّدًا لِتَسْجيلِ أَشْياءَ أُخرَى عَلَيْه . ويَتِمُّ اَلمَسْحُ بِواسِطَةِ رأسٍ ثالِثٍ شبيهٍ بِالرأْسَيْنِ الآخَرَيْن اَسمُه **رأْسُ اَلمَسْحِ** . وهذا يُوَلِّدُ مَجالًا مغْنَطيسيًّا سَريعَ اَلتناوُبِ (يَشْتَدُّ ويَنْخَفِضُ عِدَّةَ مَرّاتٍ في اَلثانِيةِ) يُزيلُ مَغْنَطَةَ اَلشَّريط .

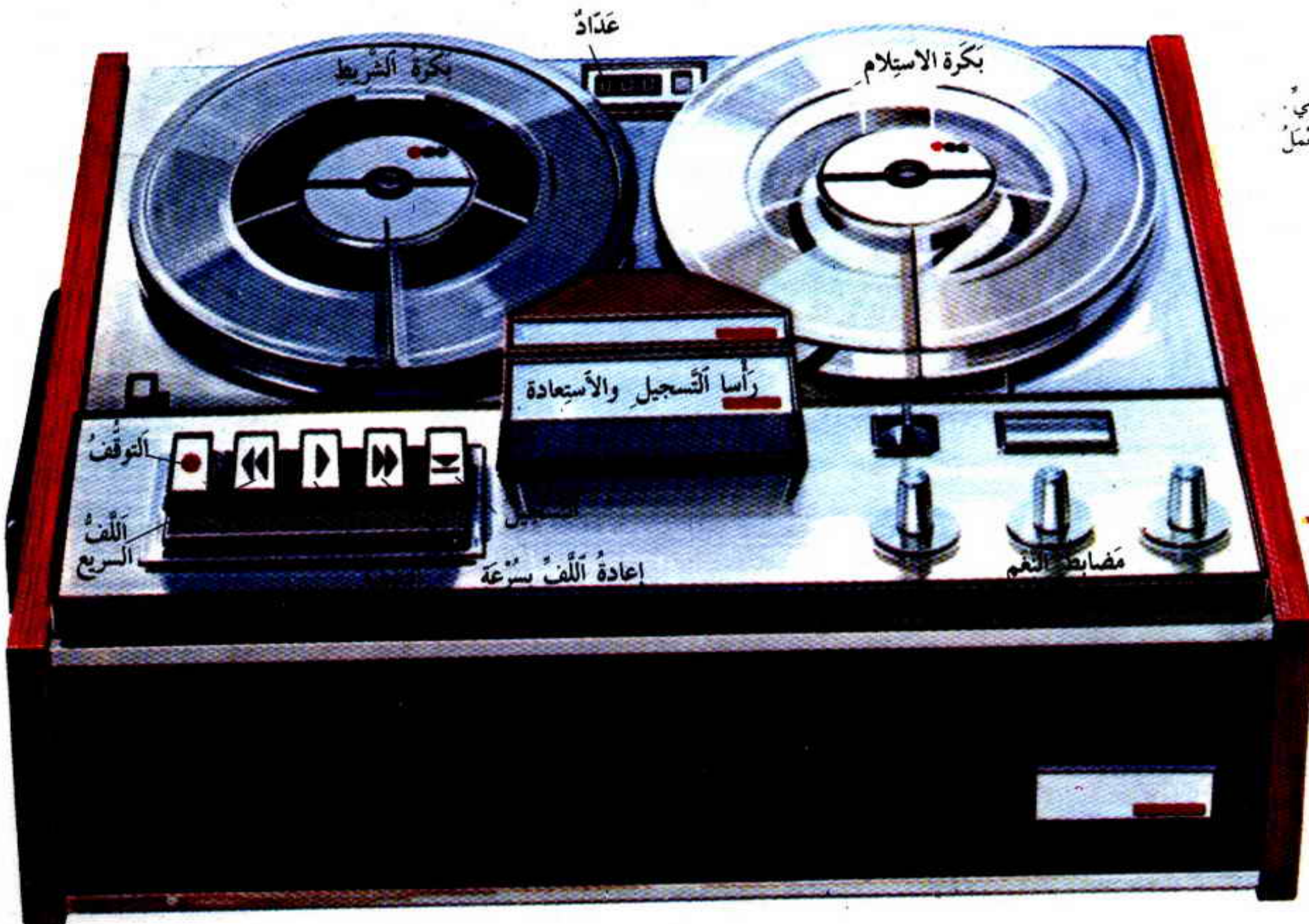
تُسْتَخْدَمُ اَلمُسَجِّلَةُ اَلشَّريطيَّةُ لتَسْجيلِ اَلصَّوتِ واَستِعادَتِه عِنْدَ اَلطَّلَب . وتَعْمَلُ اَلمُسَجِّلَةُ التِلفِزْيُونيَّة بِطَريقَةٍ مُماثِلَةٍ فتُسَجِّلُ بواسِطَتِها اَلأَصْواتُ واَلصُّوَرُ اَلتِّلفِزْيُونيَّةُ كِلاهُما على **شَريطِ اَلتَّرْئِيَةِ (اَلڤيديُو)** المِغْنَطيسيِّ كإشاراتٍ كَهْرَبائيَّةٍ يُمكِنُ اَستِعادَتُها وبثُّها مُجَدَّدًا عِنْدَ اَلحاجَة .

إلى اَليَسارِ

تُرينا اَلتَّجْرِبَتانِ تأْثيرَ اَلمجالِ المغْنَطيسيِّ في بُرادَةِ اَلحديد ، وهُوَ تأْثيرٌ مُشابِهٌ لِتأثيرِ اَلمغنطيسِ الكهربائيِّ في رأْسِ اَلتسجيلِ علَى أُكسيدِ اَلحديد في اَلشَّريطِ . ضَعْ قَليلًا من بُرادَةِ اَلحَديدِ على صَفْحةٍ شَفّافةٍ وحرِّكْ تحتَها مغْنَطيسًا نِضْوِيًّا أَوَّلًا ثُمَّ مغْنَطيسًا كَهْرَبائيًّا صَغيرًا . ستُلاحِظُ تَراقُصَ اَلبُرادَةِ وهيَ تَنْتَظِمُ في نَسَقٍ مُعيَّنٍ عند اَقترابِ المِغْنَطيس مِنها .

إلى أَسْفَلَ

ثلاثةُ أَنْواعٍ مُخْتَلِفَةٍ منَ الأَشْرِطَةِ للتَّسْجيلِ في مَسْلَكٍ واحِدٍ أَو اَثْنَيْنِ أَوْ أَرْبَعَةِ مَسالِكَ .

إلى اَليسارِ

مُسَجِّلَةٌ حَديثَةٌ تَعْمَلُ بِتيّارِ اَلإمدادِ اَلرئيسيِّ . وهنالِكَ بَعْضُ اَلمُسَجِّلاتِ اَلخفيفَةِ اَلّتي تَعْمَلُ أَيْضًا بِاَلبطّارِيّاتِ .

اَلصِّمامُ (اَلكَهربائيُّ) والتَرانْزِستُور

اَلإلِكْترونِيّاتُ عِلْمٌ يَبْحَثُ في اَلدّاراتِ الكَهرَبائيَّةِ الإلِكْترونيَّةِ. والدّاراتُ اَلكَهرَبائيَّةُ هي مَساراتٌ تامَّةٌ للإلِكْترونات في أثْناء تأديَتِها شُغْلًا نافِعًا. وهٰذا اَلشُّغلُ قد يكونُ إضاءةَ مِصباحٍ كَهرَبائيٍّ صغيرٍ أَوْ تَشغيلَ حاسِبَةٍ ضَخْمَةٍ. وتتَّصِلُ هٰذه اَلمَساراتُ **بِمُقَوِّماتٍ** أَوْ عناصِرَ يُؤدّي كُلٌّ مِنها وَظائفَ مُختَلِفةً. مِن هٰذِهِ اَلمُقَوِّماتِ **اَلصِّماماتُ والتَرانْزِسْتُوراتُ والمُقاوِماتُ والمكَثِّفاتُ والمُحاثّاتُ**.

أَبسَطُ الصِّماماتِ هُوَ **اَلصِّمام اَلثُّنائيُّ (اَلدّايُودُ)** اَلذي اختَرعَهُ جُون فلِمِنْغ عامَ ١٩٠٤. ويتأَلَّفُ الدايودُ من أُنبوبٍ زُجاجيٍّ مَختومٍ مُفَرَّغٍ من الهواءِ وبِداخلِهِ قُطبان مَعْدِنيّان (أَوْ إلكترودان) مُتَّصِلان بِسِلكَيْنِ يَخرُجان من قاعِدتِه لِوَصْلِها بالدّارةِ الكهربائيَّةِ. وأَحَدُ هٰذين القُطْبَيْنِ هُوَ **اَلكاثُودُ** اَلذي يَبْتَعِثُ عِندَ تسخينه، بتيّارٍ كَهْرَبائيٍّ، سَيْلًا منَ الإلِكترونات يَنْدَفِقُ عَبْرَ فَجْوَةٍ إلى اَلقُطبِ الآخَرِ المُسَمَّى **الأَنُودَ** (أَوِ الصَّفيحة). ولمّا كانَتِ الإلكتروناتُ تَسْري فَقَطْ من الكاثُودِ إلى الأَنُود فإنَّ الدايُودَ يَجْعَلُ بالإمكان تحويلَ التَّيار المُتَناوِبِ الى تيّارٍ مُستَمِرٍّ. ويَضُمُّ **اَلصِّمامُ الثلاثيُّ (الترايُودُ)** قُطبًا (إلكترودًا) ثالِثًا يُسَمَّى **اَلشَّبَكة** يَتَحَكَّمُ في مَسْرَى الإلِكترونات عَبْرَ الصِّمام. وتَحْوي بعضُ الصِّماماتِ أكثرَ من ثلاثةِ إلِكْترودات.

وقَدْ لُوحِظَ في أَواسِطِ القَرْنِ العِشْرينَ أَنّه يُمكِنُ تَسْرِيَةُ تيّارٍ كَهْرَبائيٍّ عَبْرَ اَلبِنْيَةِ البِلَوريَّةِ لِمادَّةٍ صُلْبَةٍ كالجِرْمانيُوم، وأنّه يُمكِنُ الحُصولُ على تيّارٍ قَويٍّ إذا ما أُضيفَ إلى بِلَّورة الجِرْمانيوم كَمِّيّاتٌ قليلةٌ منَ الزِّرنيخ أَوْ من البُورُون.

تَحْوي ذَرَّةُ اَلزِّرْنيخ إلِكْترونًا أكثرَ في غِلافِها الخارجيِّ من ذَرَّة الجِرْمانيوم (أُنظُرْ صفحة ١٥٦). وهٰذِه الإلكتروناتُ الزائدةُ يُمكِنُ تَسْرِيَتُها عَبْرَ اَلبِنْيَةِ البِلَّوريَّةِ بتَسْليطِ فُلْطِيَّةٍ مُناسِبَةٍ على سِلْكَيْنِ مَغْروزَيْنِ في المادَّة. وهٰذا النَّمَطُ مِنَ المُوَصِّلِ يُسَمَّى شِبْهَ مُوَصِّلٍ سَلْبيَّ النَّمط وتَسْري فيه الإلِكتروناتُ بَعيدًا عن القُطْبِ السّالِب باتِّجاه القُطبِ المُوجَبِ. أَمّا شِبْهُ المُوَصِّلِ المُوجَبُ النَّمَطِ فَيحْوي كَمِّيَّةً قَليلَةً مِن مادَّةٍ شائبَةٍ كالبُورُون. وتَحوي ذَرَّةُ البورُونِ إلِكترونًا أَقَلَّ في غِلافِها الخارجيِّ مِن ذَرَّةِ الجِرْمانيُوم. وهٰذا يَعْني أنّه يُمكِنُ انجذابُ الإلِكترونات من ذَرّاتِ الجِرْمانيُوم إلى ذرّاتِ البُورُون.

وتَحْدُثُ فَجَواتٌ في الغِلافِ الخارجيِّ لِذرّاتِ الجِرْمانيوم في البِلَّورةِ المُتَّصِلِ بِها قُطْبانِ واحِدٌ من كل جانِبٍ. وبِتَسْليطِ فُلْطِيَّةٍ مُناسِبةٍ عَبْرَ قُطبَي البلّورة يُمكِنُ تَحريكُ هٰذِهِ الفَجَواتِ خِلالَ البِلَّورةِ مِنَ القُطبِ المُوجَبِ إلى السالِبِ. وهكذا يَحْصُلُ التَّيّارُ النّاتِجُ من تَحرُّكِ الفَجَواتِ الإلِكترونيَّةِ لا الإلكتروناتِ الزائدةِ نَفْسِها.

ويتأَلَّفُ الترانْزِسْتُورُ من شَطيرةِ شِبْهِ مُوَصِّلاتٍ من النَّمطِ السَّلبيِّ فالإيجابيِّ فالسَّلبيِّ (ترانزِسْتُور س – م –س). أمّا إذا غُيِّرَ نَمَطُ ترتيبِ شِبْه المُوَصِّلاتِ فالناتجُ هُو ترانزِسْتُور م – س – م. وللترانزستور ثلاثةُ توصيلاتٍ أساسيَّةٌ – واحِدٌ إلى شِبْهِ المُوَصِّلِ المُتَوسِّطِ **(الأَساس)** وآثنانِ إلى شِبْهَي المُوَصِّلَيْنِ في الجانِبَيْنِ **(المُبْتَعِث والمُجَمِّع)**. وتُؤدّي هٰذِهِ الوسائلُ الوظائفَ نَفْسَها اَلتي يُؤدّيها الصِّمامُ الثُّلاثيُّ (الترايُود) وقد بَدَأَتْ بالفِعْلِ تَحتَلُّ مَكانَهُ في كثيرٍ من الداراتِ الكَهْرَبائيَّةِ.

مَجالٌ إلِكتروستاتيٌّ

س س س

مُكَثِّفٌ إلِكتروليتيٌّ

8µF 450V

سِلكٌ غَليظٌ

سِلكٌ رَفيعٌ

مُقاوَمةٌ أَقَلُّ

مُقاوَمةٌ أَشَدُّ

مُقاوِمٌ مِلَفِّيُّ السِّلكِ

رَمْزُ المُقاوَمةِ

الرقمُ الأَوَّلُ

الرقمُ الثاني

عَدَدُ الأَصْفار

مُقاوِمٌ فِعليٌّ

٥٦٠٠٠ أوم

مُقاوِماتٌ كربُونيَّةٌ لَونيَّةُ التَّرميز

٢،٢ ميغا أوم   الذَهَبُ = ٥ ٪

تبيِّن الألوانُ مقدار المُقاوَمةِ التي يبذُلها المُقاوِم

الرَّمزُ اللونيُّ		
اسود		صِفرٌ
بني		١
احمر		٢
برتقالي		٣
اصفر		٤
اخضر		٥
ازرق		٦
بنفسجي		٧
رمادي		٨
ابيض		٩

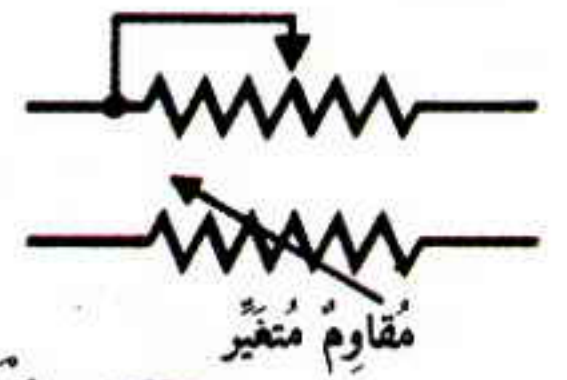
مُقاوِمٌ مُتغيِّر

مِبْرَم

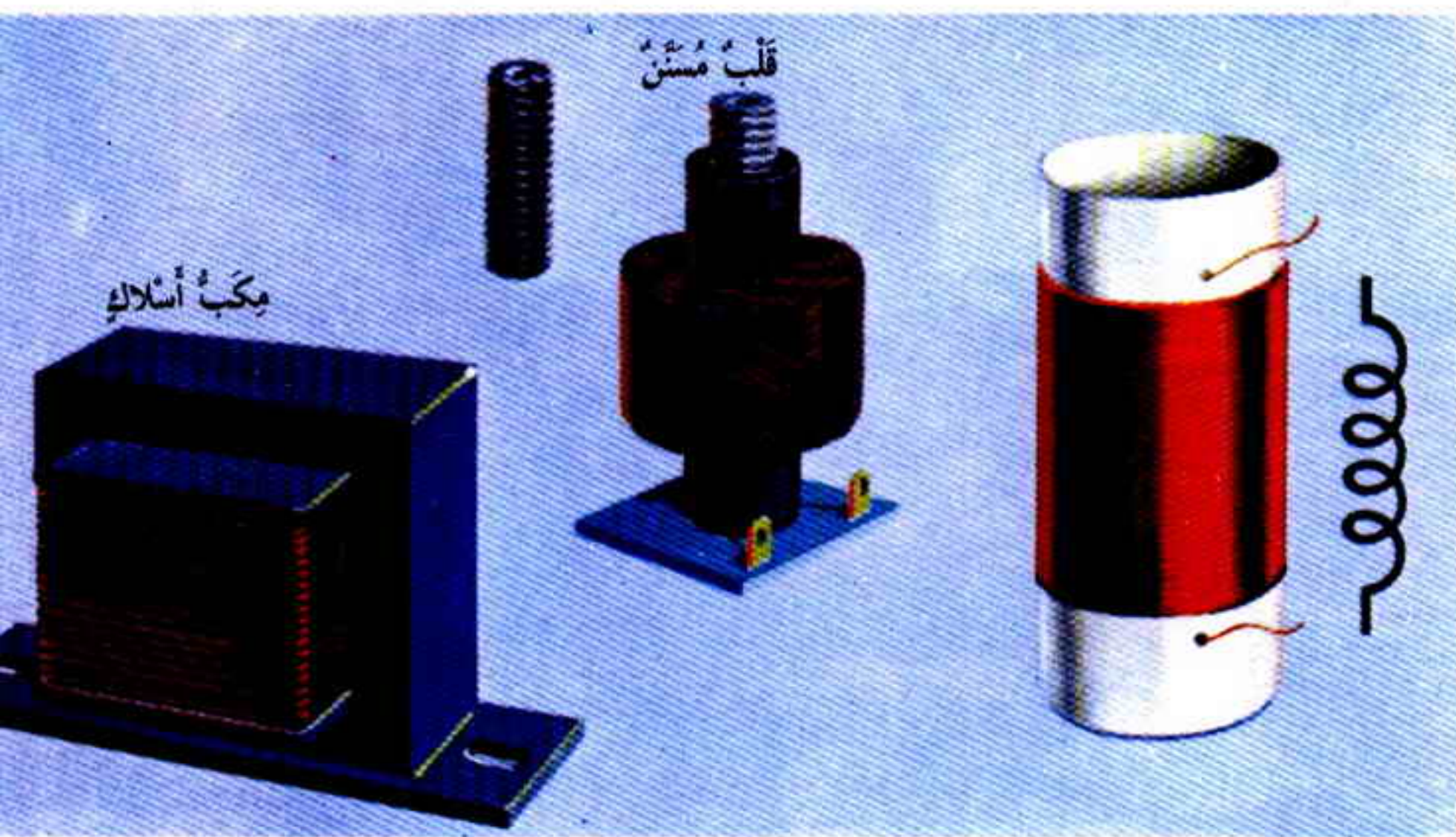
مَسارٌ كربُونيٌّ

ص

س   س

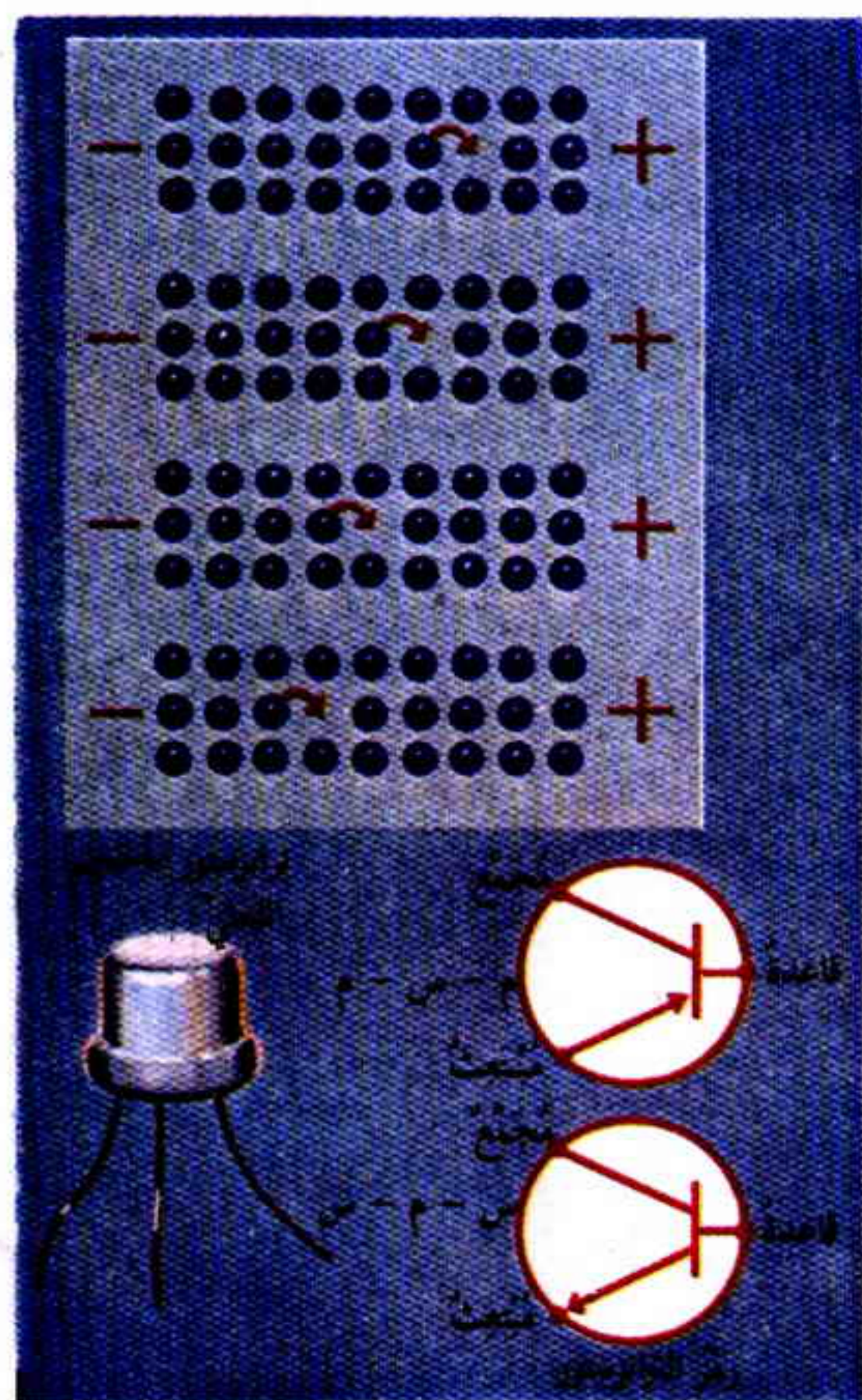
فَوْق

اَلمُقاوِماتُ المِلَفِّيَّةُ الأَسْلاكِ والتَّرميزُ اللَّونيُّ لِلمقاوِمات. يتحَكَّمُ المُقاوِمُ في كَمِّيَّةِ التيّارِ السّاري في دارةٍ مُعَيَّنةٍ. ويُمكنُ صُنْعُ المقاوِمِ مِن مَوادَّ مُتَعدِّدة تُبَطِّئُ سَرَيانَ الإلِكترونات. فَحينَ تُحرِّكُ قَبْضَةَ تَخفيضِ الجَهارةِ في الرّاديُو فإنَّكَ بِذٰلِكَ تَزيدُ مُقاومَةَ الدّارةِ الكَهرباِئيَّةِ فَتَضْعُفُ الإشارَةُ المُرسَلَةُ إلى المِجْهار.

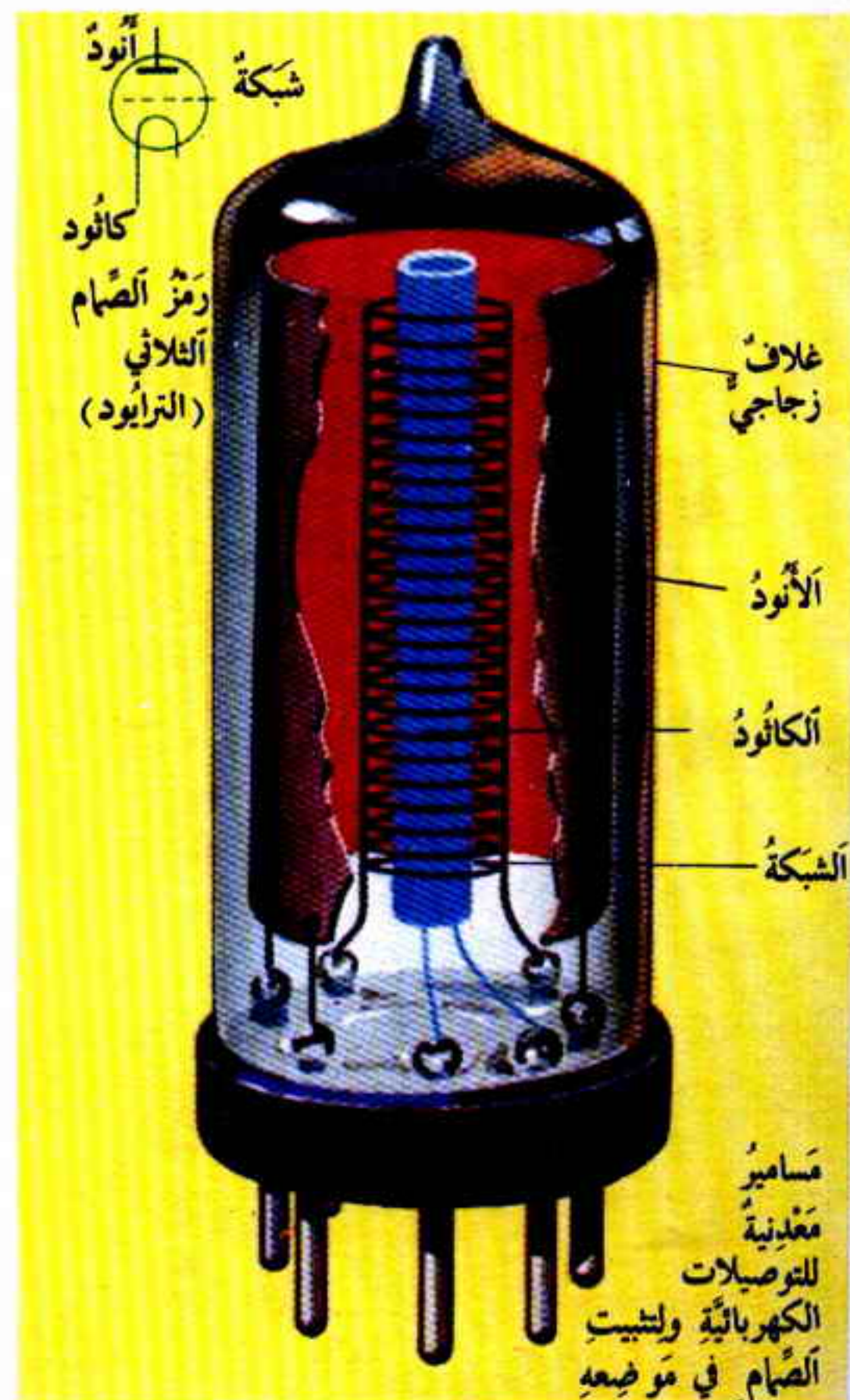
مِكَبُّ أَسْلاكٍ

قَلْبٌ مُسَنَّنٌ

إلى اسفل

يَضُمُّ ٱلترايُودُ قُطبًا ثالِثًا (بالإضافةِ إلى ٱلأَنودِ وٱلكاثُودِ) هُوَ ٱلشَّبَكَةُ. وهٰذهِ تتحكَّمُ في سَرَيانِ ٱلإلِكترونات عَبْرَ ٱلصِّمامِ. وبذلكَ يُمكِنُ لِلترايُودِ زِيادةُ مِقدارِ (أَيْ تضخيمُ) ٱلإشاراتِ ٱلكهربائيَّة.

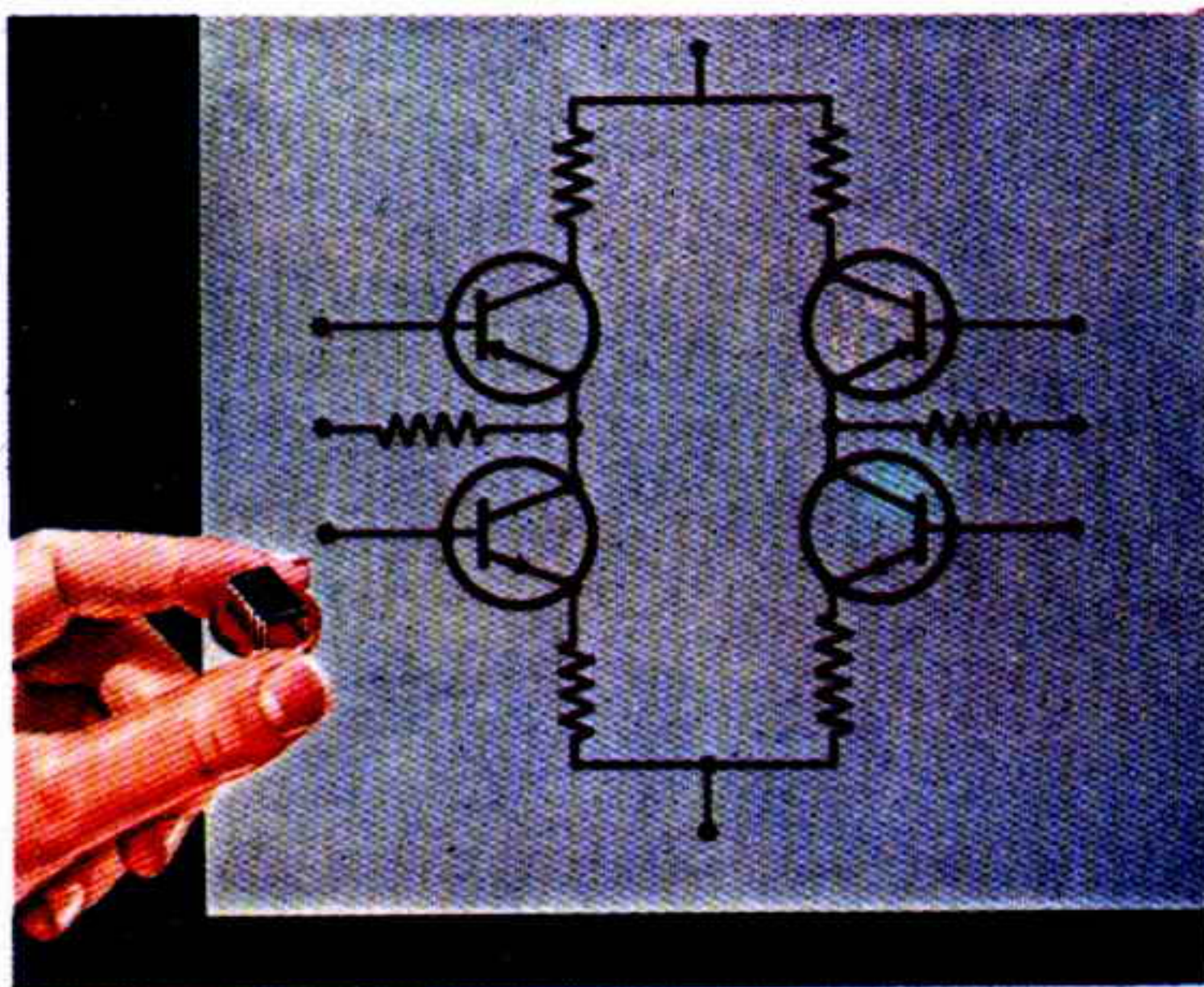
أَنودٌ
شَبَكةٌ
كاثُود
رَمْزُ ٱلصِّمامِ ٱلثلاثي (التَرايُود)
غلافٌ زجاجيٌ
الأَنُودُ
ٱلكاثُودُ
ٱلشَّبَكةُ
مَسامِيرُ مَعْدِنيةٌ للتوصيلات الكهربائيَّةِ ولِتثبيتِ ٱلصِّمامِ في مَوضِعِهِ

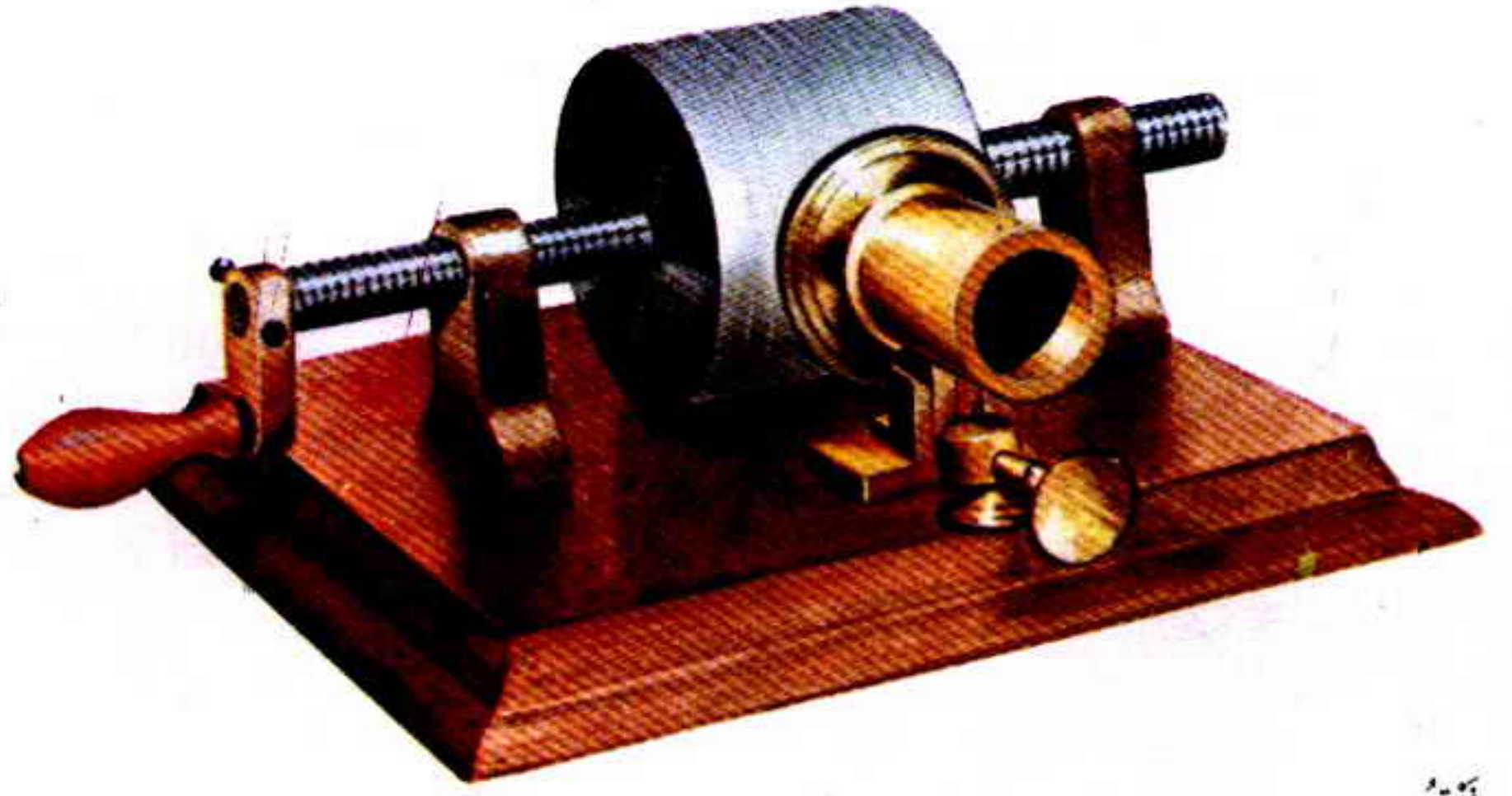
فَوْقُ

يَتَأَلَّفُ مِلَفُّ ٱلحَثِّ (ٱلمُحاثَّةِ) من سِلْكٍ مَلْفُوفٍ حَوْلَ قِطْعَةٍ مَعْدِنيَّةٍ أَوْ لامَعْدِنيَّةٍ. وهُوَ يُوَلِّدُ مُحاثَّةً كَهْرَمِغْنَطيسيَّةً، من جُمْلَةِ فَوائدِها إِسْلاسُ تمَوُّجاتِ ٱلتيَّارِ ٱلصَّادِرِ عن صِمامٍ ثُنائيٍّ بَعْدَ تَحويلِهِ مِنْ تيَّارٍ مُتَناوِبٍ إلى تَيَّارٍ مُسْتَمِرٍّ.

إلى ٱليسار

تُؤَدِّي ٱلترانزِسْتُوراتُ وَظائفَ ٱلصِّماماتِ وقَدْ أَخَذَتْ تَحتَلُّ مَكانَها في داراتٍ كثيرَةٍ لِأَنَّها صَغيرةُ ٱلحجمِ ولا تَتَطَلَّبُ حَرارةً لأنبِعاثِ إلكتروناتِها وهي أَكثَرُ اعتِمادِيَّةً واحتِمالًا وٱلفُلطيَّةُ ٱللازِمةُ لتشغيلِها أَقَلُّ كثيرًا.

إلى ٱليمين

دارَةٌ مُندَمِجةٌ. يُمكن حالِيًّا صُنعُ ترانزستوراتٍ وأَجزاءٍ كهربائيَّةٍ صَغيرةٍ جدًّا بِحيثُ يُمكِنُ تثبيتُ آلافٍ من هذه ٱلأَجزاءِ، المكوِّنةِ لمئاتِ ٱلدَّاراتِ، في قِطعةٍ صَغيرةٍ من مادَّةٍ شِبْهِ مُوَصِّلةٍ تُؤَلِّفُ دارةً مُندَمِجة. وهٰذه ٱلدارةُ خفيفةُ ٱلوَزنِ رَخيصةٌ وتَدُومُ طويلًا لذلكَ تُستَخدَمُ على نِطاقٍ واسِعٍ.

إلى ٱليمين

يُستَخدَمُ ٱلمُكثِّفُ في ٱلدّارةِ لِخَزْنِ الشُّحناتِ ٱلكهربائيَّةِ. وَهُوَ يَتأَلَّفُ من صَفيحَتَيْنِ مَعدِنيَّتَيْنِ أَوْ أَكثَرَ ثابِتَةٍ مُحَدَّدةِ ٱلسَّعَةِ أَوْ بعضُها ثابتٌ، وبَعضُها مُتَحَرِّكٌ لتغييرِ مِقدارِ ٱلشُّحنَةِ المخزونِ بَيْنَها. فعِنْدَما تحرِّكُ قَبضةَ ٱلتدويرِ لِضَبْطِ ٱلرّاديُو على مَحَطَّةٍ مُعَيَّنةٍ فإنَّكَ بِذلكَ تُحَرِّكُ صَفائحَ ٱلمُكَثِّفِ ٱلمتغَيِّرِ ٱلسَّعَةِ فيهِ.

فوقُ

حاكيةُ إديسُونَ ٱلصَّفيحيَّةُ ٱلأَصْليَّةُ ظَهرت عامَ ١٨٧٧، وكانَتْ تُسَجِّل صَوْتَ ٱلمُتَكَلِّمِ بإحداثِ ٱنطباعاتٍ حَزِّيَّةٍ على صَفيحةِ ٱلقَصْديرِ ٱلمَشْدُودةِ حَوْلَ أُسْطُوانةٍ نُحاسيَّةٍ. وكانَتِ ٱلأُسْطُوانةُ تُدارُ بِٱليَدِ.

اَلحاكِيَةُ (مِعْزَفةُ ٱلأُسْطُواناتِ)

إديسُون

فَوْقُ

تُوماس ألْفا إديسُون (١٨٤٧ – ١٩٣١). مُخْتَرِعٌ أميركيٌّ عَبْقريٌّ، من مُخْتَرَعاتِهِ ٱلشهيرةِ ٱلمَكَنَةُ ٱلحاكِيَةُ ٱلّتي عُرِفَتْ فيما بَعْدُ بأَسْماءٍ عِدَّةٍ كالحاكي والفُونُوغرافِ والغرامُوفُون ومِعْزَفَةِ الأُسْطُوانات.

سُمِّيَتِ ٱلآلةُ ٱلأُولى ٱلقادِرَةُ على ٱستِعادةِ ٱلصَّوْتِ ٱلإنسانيِّ **ٱلمَكَنَةَ ٱلحاكِيَةَ**، وكانَتْ من ٱختِراعِ ٱلعالِمِ ٱلأَميركيِّ تُوماس إدِيسُون عامَ ١٨٧٧. وكانَتِ ٱلحاكياتُ ٱلأُولى خَشِنَةَ ٱلصُّنْعِ رَديئةَ ٱلأَداءِ تتأَلَّفُ واحِدَتُها مِن أُسْطُوانَةٍ مَعْدِنيَّةٍ تَلُفُّها صَفيحَةٌ قَصديريَّةٌ. وكانَتْ هٰذِهِ **ٱلفُونُوغرافاتُ ٱلصَّفيحيَّةُ** تُدارُ بِٱليَدِ (لِعَدمِ شُيُوعِ ٱلمُحَرِّكاتِ الكَهرباثيَّةِ حِينَئذٍ) فتُسَجِّلُ صَوْتَ ٱلمُتكلِّمِ وتَستَعيدُه. فكانَ ٱلمُشَغِّلُ يتكَلَّمُ بجَهارةٍ في **أُنْبُوبِ ٱلتَّسجيلِ** ٱلذي يَنْتَهي طَرَفُه ٱلآخَرُ برِقٍّ ذي إبْرَةٍ بَيْنا هُوَ يُديرُ ٱلأُسْطُوانَةَ. وبِتأْثيرِ تموُّجاتِ ٱلصَّوْتِ كانَ ٱلرِّقُّ يتذَبْذَبُ جيئَةً وذَهابًا فتُسَجِّلُ إبْرَتُهُ ٱنطِباعاتٍ على ٱلصفيحةِ ٱلقَصْديريَّةِ تُمَثِّلُ جَهارَةَ ٱلصَّوْتِ وطَبَقَتَهُ. ولاَستِعادةِ ٱلصَّوتِ كانَ يُسْتَخدَمُ **أُنْبُوبُ ٱسْتِماعٍ** شَبيهٌ بأُنبُوبِ ٱلتَّسجيلِ تَتَحَرَّكُ إبْرَةُ رِقِّهِ على ٱنطباعاتِ ٱلصَّفيحةِ القَصْديريَّةِ فيَتَذَبْذَبُ ٱلرِّقُّ مُعيدًا ٱلصَّوْتَ ٱلمُسَجَّلَ.

وفي أَواخِرِ ٱلقرنِ ٱلتّاسِعَ عَشَرَ أُدْخِلَتْ تَحسيناتٌ مُتَعَدِّدَةٌ على ٱلحاكِيَةِ منها ٱستِخدامُ أُسْطُوانَةٍ كَرتُونيَّةٍ مُغَشّاةٍ بِطَبَقَةٍ شَمْعيَّةٍ تُسَجِّلُ عليها ذَبْذَباتُ ٱلصَّوْتِ بِدِقَّةٍ أَكْثَرَ بواسِطَةِ إبْرَةِ ٱلرِّقِّ في أُنبُوبِ ٱلتَّسجيلِ. وسُمِّيَتْ إحْدَى هٰذه ٱلآلاتِ ٱلغرافُوفُون، واستُخدِمَتْ كمكَنَةٍ إملائيَّةٍ لكِنَّها لم تَلْقَ ٱنتِشارًا، بَيْنَما لاقَى نَمطٌ مُعَدَّلٌ آخَرُ لِهٰذِهِ ٱلآلَةِ، ٱسمُهُ ٱلفونُوغرافُ، نَجاحًا وشَعْبيَّةً – خاصَّةً بَعْدَ أَنِ ٱتَّضَحَتْ إمكانيّاتُ ٱستِخْدامِ ٱلحاكِيَةِ في مَجالِ ٱلتَّسلِيَةِ وٱلإمْتاعِ بٱستِعادةِ ٱلتَّسْجيلاتِ ٱلمُوسيقيَّةِ وٱلغِنائيَّةِ وغَيْرِها.

وَمِنْ أَبْرَزِ ٱلتَّحسيناتِ ٱلّتي أُدخِلَتْ على ٱلحاكِيَةِ تَشغيلُها بمُحَرِّكٍ آليٍّ زُنْبُركيٍّ، يُشْبِهُ آلِيَّةَ السّاعَةِ، يُمكِنُ تَعبِئَتُهُ بإدارةِ مِقْبَضٍ أَوْ مِرْفَقٍ خاصٍّ. وتَلا ذٰلكَ تَعديلٌ مُهِمٌّ آخَرُ هُوَ تَغييرُ سَطْحِ ٱلتَّسْجيلِ ٱلأُسْطُوانيِّ ٱلشَّكْلِ إلى قُرْصٍ دائريٍّ مُسَطَّحٍ ما زِلْنا نُسَمّيهِ **أُسْطُوانةً** حتّى ٱليَوْمِ. وكانَتْ هٰذه ٱلأَقْراصُ ٱلدّائريَّةُ (ٱلأُسْطُواناتُ) تُسَجَّلُ أَوَّلًا بٱلحَفْرِ أَوِ ٱلضَّغطِ على وَجْهٍ واحدٍ فَقَطْ.

وفي أَوائلِ ٱلقَرْنِ ٱلعِشْرينَ صُنِعَتْ مَكَناتٌ تَسْتَطيعُ كَبْسَ آلافِ ٱلنُّسَخِ منَ ٱلأُسْطُواناتِ عنِ **ٱلأُسْطُوانَةِ ٱلأُمِّ** ٱلّتي تَحْمِلُ ٱلتَّسْجيلاتِ حيُودًا ناتِئةً لا حُزوزًا غائرةً. وكانتِ ٱلأُسْطُواناتُ ٱلأُولى ٱلمُنتَجَةُ بٱلجُملةِ تُصنَعُ من ٱللَّكِّ في مَكابِسَ ساخِنَةٍ تَضْغَطُ فَوْقَها ٱلأُسْطُوانَةَ ٱلأُمَّ فتَطبَعُ علَيْها حُزُوزٌ مُطابِقَةٌ لحُزوزِ ٱلتَّسْجيلِ ٱلأَصْليِّ ٱلذي أُعِدَّتْ مِنْهُ ٱلأُسْطُوانةُ ٱلأُمُّ. وعِنْدَما تَسْري إبْرَةُ ٱلاَستِعادةِ في هٰذه ٱلحُزُوزِ تُعيدُ اهتِزازاتُها في **ٱللاّقِطِ** ذَبْذَباتِ ٱلصَّوْتِ ٱلأَصْليِّ وهٰذا بِدَوْرِه يُحَوِّلُها إلى تيّاراتٍ

مِجهاران

مِنَصَّةُ ٱلأسْطُواناتِ

لاقِطٌ

مُضَخِّمٌ

إلى ٱليمين

خلالَ ٱلجزءِ ٱلأوَّلِ مِنَ ٱلقَرْنِ ٱلعِشرينَ ٱستُبْدِلَ بِٱلأسْطُوانةِ ٱلبِرميليَّةِ أُسْطُوانَةُ ٱلقُرْصِ ٱلدّائريُّ وصارَ بِٱلإمكانِ صُنعُ هٰذه ٱلأسْطُواناتِ بِٱلآلاف عنِ ٱلأسْطُوانة الأُمّ. وكذٰلكَ تطوَّرَتِ ٱلآلاتُ ٱلتي تُدوِّرُ هٰذه ٱلأسْطُواناتِ من سابقَتِها بتحْسيناتٍ وتَعديلاتٍ مِنْها تَدويرُ مِنَصَّةِ ٱلأسْطُوانةِ بِمُحرِّكٍ زُنْبركيٍّ ذي آليَّةٍ ساعيَّةٍ بدلَ تحريكِها بٱليَدِ، ثُمَّ استخْدامُ مُحرِّكٍ كَهربائيٍّ لهٰذا ٱلغَرَضِ.

إلى ٱليسار

جهازٌ إلكترونيٌّ عَصْريٌّ لِلحاكيَةِ بِٱلصَّوْتِ ٱلمُجسَّم (سِتِرْيو). وٱلجِهازُ مزوَّدٌ بِمِجهارَيْنِ يلتَقِطانِ ٱلصَّوْتَ مِن مَسْلَكَيْنِ مُنْفَصِلَيْنِ وبمُضخِّماتٍ عاليةِ ٱلأداءِ لٱستِعادة مَدَى ٱلصَّوْتِ ٱلكامِلِ ٱلذي تَسْتَوعِبُهُ ٱلأُذُنُ ٱلبَشَريَّةُ. فَتَلْتَقِطُ إبرةُ ٱللّاقِطِ في هٰذه ٱلحاكيةِ ٱلصَّوْتَ في ٱتّجاهَيْنِ ويَتِمُّ ٱلتَّضْخيمُ في دارَتَيْنِ مُنفَصِلَتَيْنِ لِتَغْذية ٱلمِجهارَيْنِ.

ميكروفون

مضخم

الأسطوانة الأم

كَهربائيَّةٍ. ثُمَّ تُغَذَّى هٰذِهِ ٱلتيّاراتُ إلى مُضَخِّمٍ صِماميٍّ أوْ ترانْزِسْتُورِيٍّ لِتَقْوِيَتِها قَبْلَ دُخُولِها إلى ٱلمِجهارِ.

وبٱستِخدامِ ٱلحُزُوزِ ٱلبالغَةِ ٱلدِّقَّةِ وأقراصِ ٱللَّدائنِ ٱلفِنيليَّةِ ٱلصُّلْبَةِ صارَتِ ٱلأسْطُواناتُ تُدارُ بِسُرعَةِ ٣٣ دَوْرَةً في ٱلدَّقيقةِ بَدَلَ ٧٨ لِأسطُواناتِ ٱللكِّ. وبتَضافُرِ هٰذه ٱلتَّحْسيناتِ وٱستِحْداثِ ٱللّاقِطاتِ ٱلخَفيفة ٱلوَزْنِ وٱلدّاراتِ ٱلإلِكترونيَّةِ المُتَطوِّرةِ وٱلمِجهاراتِ ٱلدَّقيقةِ ظَهَرتْ مِعْزَفَةُ ٱلأسْطُواناتِ ٱلعالِيَةُ ٱلأداءِ (هاي فاي).

إلى اليمين وفي الاسفل

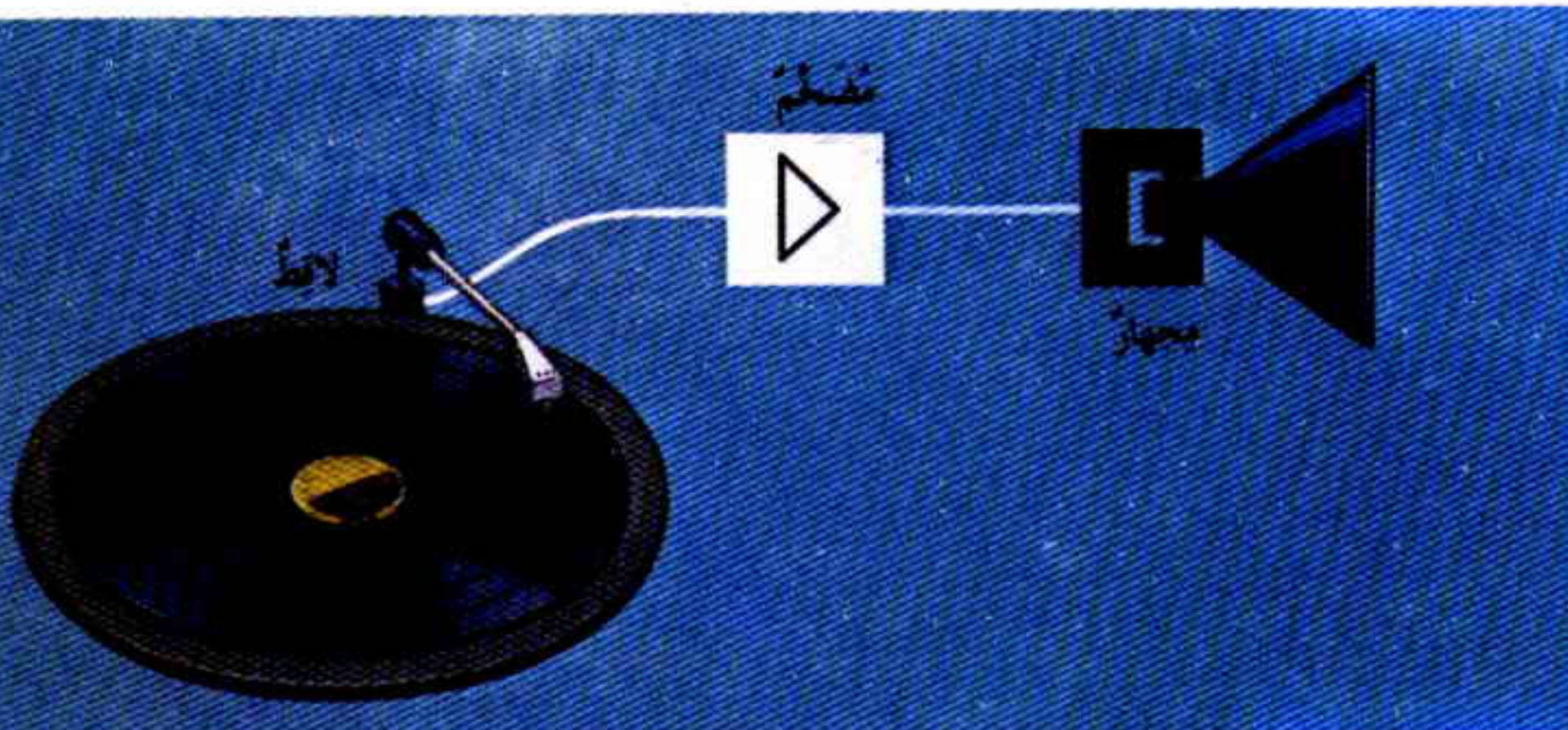
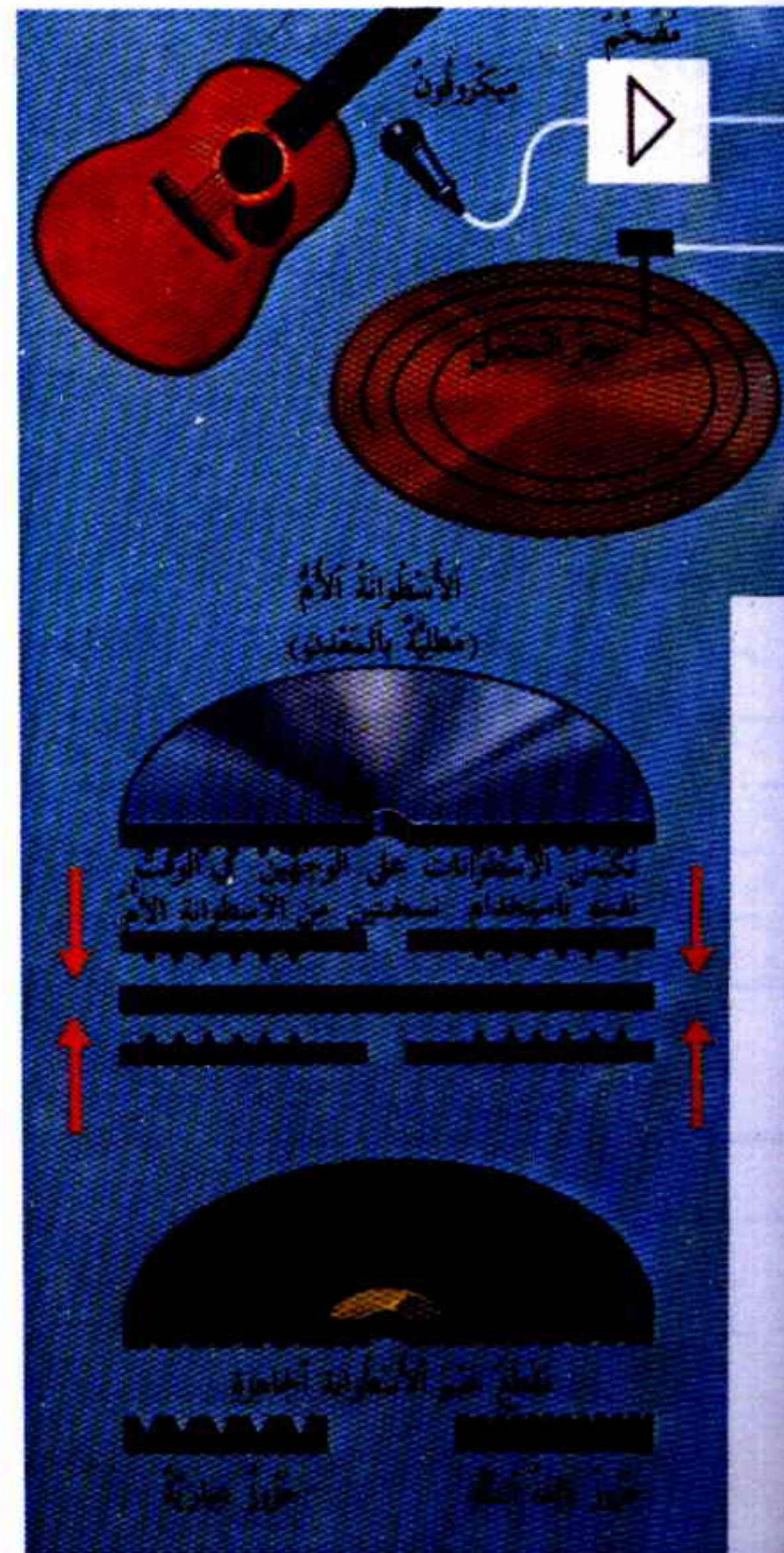
تُسَجَّلُ المُوسيقَى بتحويلِ تَضاغُطاتِ تموُّجاتِها ٱلصَّوْتيَّةِ إلى تيّاراتٍ كهربائيَّةٍ تُضَخَّمُ وتُرْسَلُ إلى مِحزِّ ٱلتَّسجيلِ على أُسْطُوانةٍ شَمعيَّةٍ. ثُمَّ تحضَّرُ مِنْ هٰذا ٱلنَّمُوذَجِ أُسْطُوانَةٌ أُمٌّ تُطابِقُ حُيودُها ٱلنّاتِئةُ حُزوزَ ٱلنَّموذَجِ ٱلغائرةَ. وتُطلى ٱلأسطُوانةُ ٱلأُمُّ بٱلمَعْدِنِ لِتَقْوِيَتِها ثُمَّ تُسْتَخْدَمُ في كَبْسِ آلافِ ٱلنُّسَخِ المُطابِقةِ حُزوزُها لأسْطُوانَةِ ٱلنَّموذَجِ ٱلشَّمْعيِّ الأصليَّة. وتُسْتَعادُ ٱلمُوسيقَى بِمُرورِ إبْرَةِ مِعْزَفَةِ الأسْطُواناتِ على طُولِ ٱلحُزوزِ حَيْثُ تَنْقُلُ ٱهتِزازاتِها إلى اللّاقِطِ، وهٰذا بِدَوْرِه يُحوِّلُها إلى تيّاراتٍ كَهْرَبائيَّةٍ يُغَذّي بِها ٱلمُضَخِّمَ فَٱلمِجهارَ.

مضخم

لاقط

مجهار

الطّبقة الأيونيّة (الأيونوسفير)

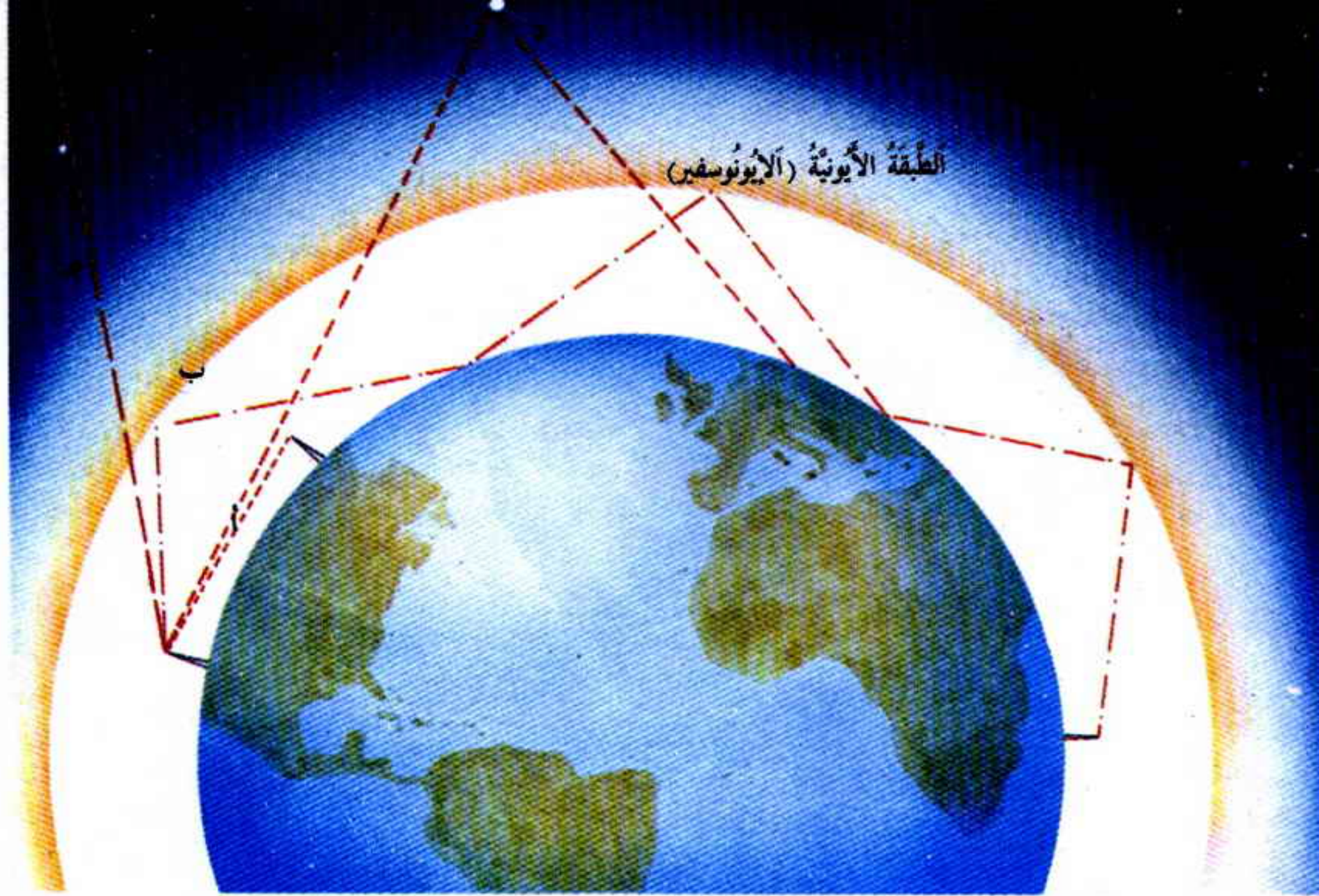
ب

إلى اليسار

انتشار الأمواج الراديّة (اللاسلكيّة).

أ. تتبع الأمواج الأرضيّة تقوّس الأرض الى مسافات قصيرة نسبيًّا.

ب. تنعكس الأمواج السّماويّة على طبقة الأيونوسفير على ارتفاع يفوق ٨٠ كم وترتدّ عنها إلى الأرض. وقد يتكرّر الانعكاس والارتداد عدّة مرّات وبذلك يمكن إرسال الإشارة الراديّة حول الأرض.

جـ. أمواج سماويّة دقيقة تعبر الطّبقة الأيونيّة في خطّ مستقيم. هذه الأمواج قد تستمرّ في انطلاقها نحو الفضاء فتضعف تدريجيًّا أو ترتدّ إلى الأرض بالانعكاس عن جرم مواصلات خاصّ.

د. جرم مواصلات يعكس أمواجًا سماويّة دقيقة اخترقت الأيونوسفير فيعيدها إلى الأرض.

الرّاديو (اللاسلكيّ)

في كلّ ساعة من كلّ يوم وفي شتّى أرجاء الأرض هنالك ملايين متعدّدة من الأمواج الرّاديّة تخترق الأجواء بسرعة تعادل سرعة الضّوء مقدارها ٣٠٠ مليون متر (١٨٦ ألف ميل) في الثّانية. ولكي نتمكّن من سماع هذه الأمواج لا بدّ لنا من جهاز راديو يحوّل الإشارات الكهربائيّة الّتي يلتقطها هوائيّه المستقبل إلى أصوات

هرتز

إلى اليسار

هنريخ هرتز (١٨٥٧ – ١٨٩٤). فيزيائيّ ألمانيّ أثبت بتجاربه وجود الأمواج الرّاديّة وبيّن أنّ خصائصها شبيهة بخصائص الأمواج الضّوئيّة. وكان لأبحاثه وتجاربه فضل كبير في اختراع التّلغراف اللاسلكيّ.

إلى أقصى اليسار

رموز (أو شفرة) مورس وتحتها مخطّط لمركزيْ إرسال واستقبال لهذا النّظام في أوّل عهده. كان المرسل يشغّل ببطاريّة وترسل الإشارة في خطوط أرضيّة. وفي مركز الاستقبال كانت الإشارة تخرّم أوتوماتيًّا على شريط.

أ	(A)	.—	د	(D)	—..	ض	(V)	...—
ب	(B)	—...	ذ	(Z)	——..	ط	(U)	..—
ت	(T)	—	ر	(R)	.—.	ظ	(Y)	—.——
ث	(C)	—.—.	ز		———	ع		.—.—
ج	(J)	.———	س	(S)	...	غ	(G)	——.
ح	(H)	....	ش		————	ف	(F)	..—.
خ	(O)	———	ص	(X)	—..—	ق	(Q)	——.—

خطّ الإرسال

مستقبِل

شريط

مغنطيس كهربائيّ

إلى أسفل

غوليلمو ماركوني (١٨٧٤ – ١٩٣٧) مهندس كهرباء إيطاليّ اخترع التّلغراف اللاسلكيّ عام ١٨٩٥. بدأ تجاربه في بريطانيا عام ١٨٩٦ فنجح في إرسال إشارة لاسلكيّة إلى مسافة ١٥ كيلومترًا، ثمّ تمّ له إرسال إشارة من ثلاث نقاط (تمثّل S أو س في شفرة مورس) من كورنوول إلى نيوفوندلند عبر الأطلنطيّ، ونال جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٠٩.

ماركوني

نَسْمَعُها بِجِهازِهِ. ويُمكِنُ بَثُّ هٰذه ٱلأَمْواجِ بِتَرَدُّداتٍ مُخْتلِفَةٍ وبِأَطْوالٍ مَوْجِيَّةٍ مُتَبايِنَةٍ.

ولَيْسَتِ ٱلمُوسِيقَى وٱلصَّوْتُ هُما أَوَّلَ ما بُثَّ بِٱللّاسِلكيِّ فَقَدْ سَبَقَهُما الإِرسالُ ٱللّاسِلكيُّ بِٱلنُّقَطِ وٱلشَّرَطاتِ مُمَثِّلَةً حُروفَ ٱلهِجاءِ حَسَبَ نِظامِ مُورْس، وذٰلِكَ قَبْلَ اختِراعِ ٱلمِيكروفُون (ٱلّذي يُحَوِّلُ أَمْواجَ ٱلصَّوتِ إلى أَمواجٍ كَهْرَبائيَّةٍ) وٱلصِّمامِ ٱلإِلكترونيِّ (أُنْظُرْ صَفْحَةَ ٢٣٨).

هُنالِكَ نَوعانِ مِنَ ٱلأَمْواجِ ٱلرّادِيَةِ أَرْضيٌّ وسَماوِيٌّ. ولا تستطيعُ **ٱلأَمْواجُ ٱلأَرْضِيَّةُ** مُتابَعَةَ تقَوُّسِ ٱلأَرْضِ إلّا لِمَسافةٍ قَصيرةٍ نِسْبِيًّا تَبْلغُ حَوالَى ٣٥٠ كيلومِترًا، لِذا لا يُمكِنُ ٱستِخْدامُها للإِرسالِ ٱللاسِلكيِّ بَيْنَ بُلدانٍ بَعيدةٍ. ولِجَعْلِ إرسالِ الأَمْواجِ الرادِيَةِ إلى ٱلمَسافات ٱلبَعيدةِ مُمكِنًا يَستَفادُ مِن ٱنْعِكاسِها عَلى طَبَقَةِ ٱلجَوِّ الأَيُونِيَّةِ (الإِيُونُوسفيرَ) على ٱرتِفاعٍ يَفُوقُ ٨٠ كيلومترًا عن سَطْحِ ٱلأَرْضِ. وهٰذِهِ ٱلأَمْواجُ ٱلمُنعَكِسةُ تُسَمَّى **أَمْواجًا سَماوِيَّةً**.

عِنْدَ بَثِّ ٱلمَوْجاتِ ٱلرّادِيَةِ ٱلقَصيرةِ تَنْعَكِسُ هٰذه ٱلأَمْواجُ عن ٱلإِيُونُوسْفِير ويُمكِنُ ٱستِقبالُها على بُعْدِ مِئاتِ ٱلكيلومترات مِنْ جِهازِ ٱلإِرْسالِ. وقَدْ تَرتَدُّ هٰذِهِ ٱلأَمْواجُ تَكْرارًا إلى ٱلإِيُونُوسْفِير لٱنعِكاساتٍ تاليَةٍ نَحْوَ ٱلأَرْضِ في سِلْسِلَةِ قَفَزاتٍ تُسَمَّى **تَفْويتات**. وبِهٰذِهِ ٱلطَّريقَةِ تُسمَعُ ٱلإِشاراتُ ٱلرّادِيَّةُ بَيْنَ قارَّةٍ وأُخْرَى على بُعْدِ آلافِ ٱلكيلومِتْرات.

وهُنالِكَ أَمْواجٌ سَماوِيَّةٌ لا تعكِسُها ٱلأَيُونُوسفير وَهْيَ أَمْواجٌ عالِيَةُ ٱلتَّرَدُّدِ (وبالِغَةُ ٱلقِصَرِ) تَنْطلِق في خَطٍّ مُسْتَقيمٍ نَحو ٱلفَضاءِ ٱلخارِجيِّ. وعِنْدَ بَثِّ مِثْلِ هٰذه ٱلأَمْواجِ ٱلدَّقيقَةِ عَبْرَ مَسافاتٍ طويلةٍ يَنْبَغي عَكْسُها نَحْوَ ٱلأَرْضِ بِوَسائلَ ٱصْطِناعِيَّةٍ هِيَ **أَجْرامُ ٱلمُواصَلاتِ**. وهٰكذا فإنَّ ٱلبَثَّ ٱلتِلِفِزْيُونِيَّ ٱلمُوَجَّهَ إلى مَسافةٍ بَعيدةٍ يَحْتاجُ إلى جِرْمِ مُواصلاتٍ يَعْكِسُ أَمْواجَهُ ٱلدَّقيقةَ ٱلعالِيَةَ ٱلتَّرَدُّدِ.

ولَوْ كانَتْ طَبَقَةُ ٱلإِيُونُوسفِير تعكِسُ كُلَّ ٱلأَمْواجِ ٱلسَّماوِيَّةِ مَهْما اشتَدَّ قِصَرُها لَمَا كانَ بِالإِمْكانِ ٱلاتِّصالُ رادِيًّا بِرُوّادِ ٱلفَضاءِ ٱلذين يتجاوزونَ هٰذِهِ ٱلطَّبَقَةَ، ولَمَا تَطَوَّرَ عِلْمُ ٱلفَلَكِ ٱلراديُّ لِعَجْزِ ٱلإِشعاعاتِ ٱلرّادِيَّةِ ٱلمُنْبَعِثَةِ مِنَ ٱلنُّجومِ ٱلبَعيدةِ عَنِ ٱخْتِراقِ جَوِّ ٱلأَرْضِ.

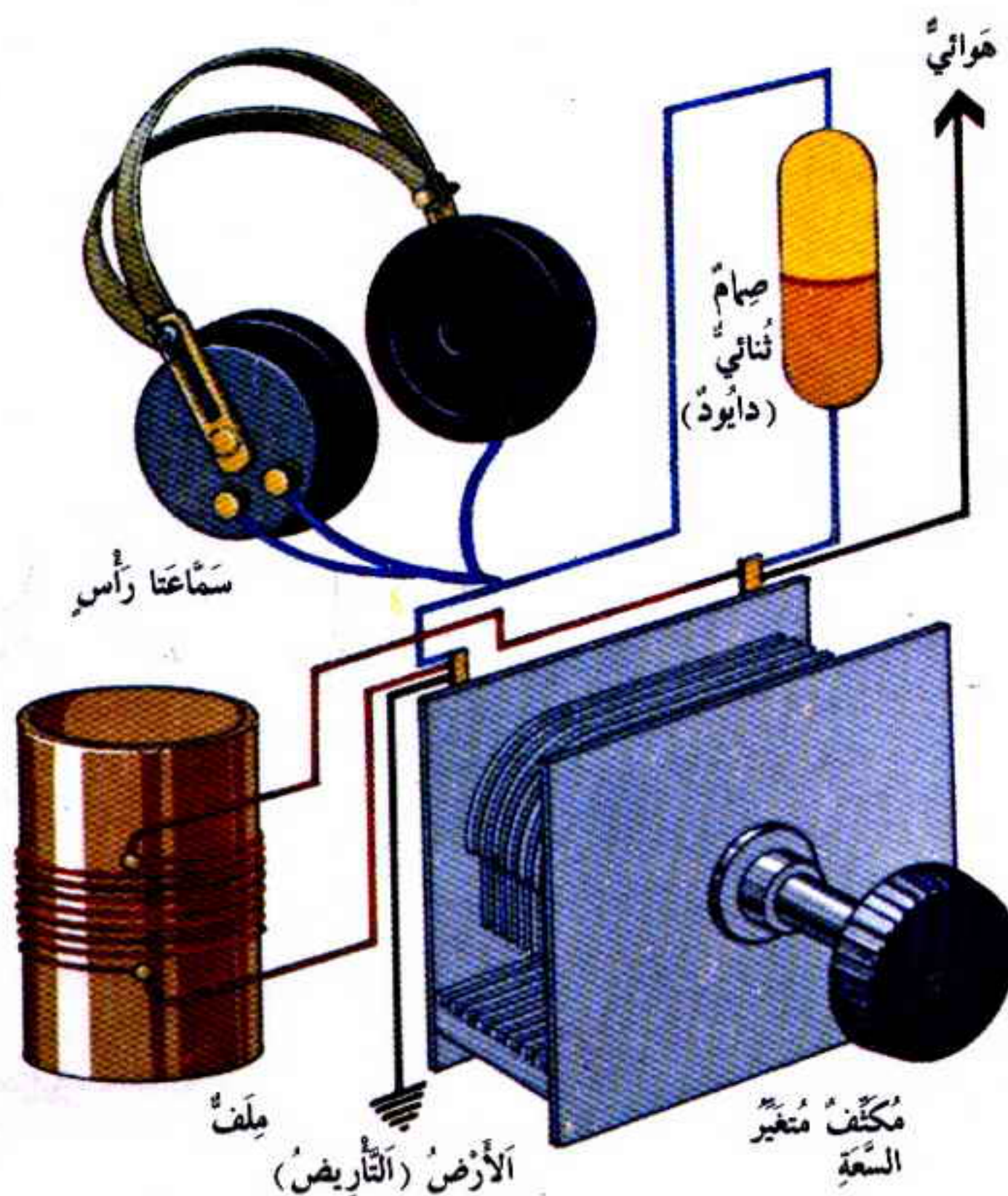
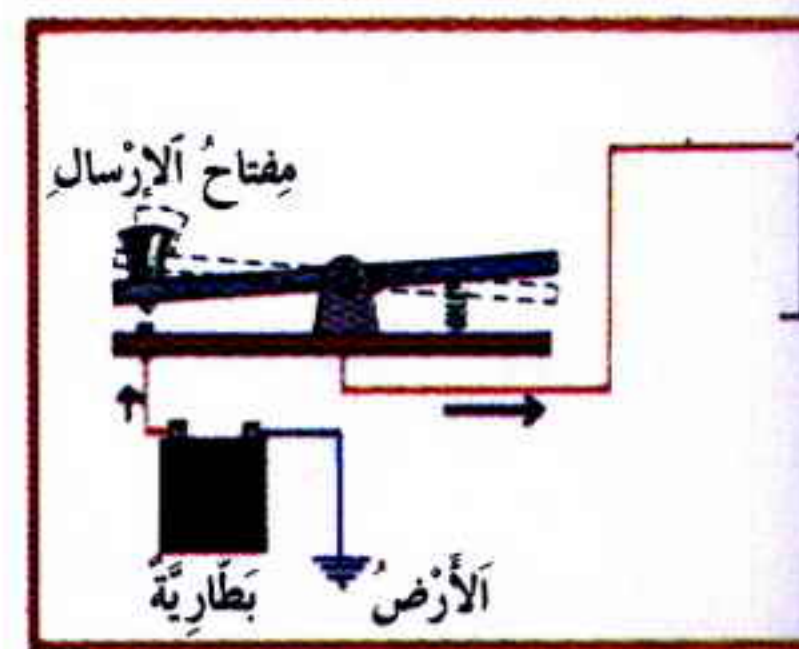
ولا تَقْتَصِرُ أَهَمِيَّةُ ٱلرّاديُو على بَثِّ نَشَراتِ ٱلأَخْبارِ وٱلبرامجِ ٱلمُوسِيقيَّةِ وٱلتَّرفيهيةِ فهُوَ أَيْضًا وَسيلَةُ ٱتِّصالٍ مُهِمَّةٌ ثُنائيَّةُ الاتِّجاهِ بَيْنَ ٱلطائراتِ وأَبْراجِ ٱلمُراقَبَةِ مثَلًا أَوْ بَيْنَ ٱلسُّفُنِ ومَراكِزِ ٱتِّصالها على الشّاطِىءِ.

ك	(K) —.—	لا	.—...—
ل	(L) ..—.	ي	(I) ..
م	(M) ——	ء	(E) .
ن	(N) .—	.	.—.—.—
هـ	..—..	،	——..——
و	(W) ——.	؟	..——..

فَوْقُ

يُسْتَخدَمُ بُرجُ دائرةِ ٱلبريدِ في وَسَطِ لَنْدَنَ لِتركيبِ هَوائيّاتِ ٱلإِرْسالِ ٱلرّاديِّ وٱلتلِفِزْيُونِيِّ. وٱلأَبراجُ ٱلعالِيَةُ مُفَضَّلَةٌ لِهذا ٱلغَرَضِ لأَنَّ بالإِمكانِ بَثَّ ٱلأَمواجِ ٱلأَرْضِيَّةِ مِنْها إلى مَسافاتٍ أَبْعَدَ مِمّا لَوْ جَرَى بَثُّها بِمُستَوى سَطْحِ ٱلأَرْضِ.

إلى ٱليمين

مُسْتَقْبِلٌ راديٌّ بَسيطٌ. يَلْتَقِطُ ٱلهوائيُّ الإِشارةَ ٱلمُرسَلَةَ من مَرْكَزِ ٱلبَثِّ فتُوالَفُ هٰذِه ٱلإِشارةُ بواسِطةِ ٱلدّارَةِ ٱلّتي تَضُمُّ ٱلمكثِّفَ ٱلمتغيِّرَ السَّعَةِ وٱلمِلَفَّ. ثُمَّ تَمُرُّ ٱلإِشارةُ خِلالَ ٱلدّايُودِ ٱلذي يَسْتَخْلِصُ ٱلإِشارةَ (أَيْ يُزيلُ تَضْمينَها) بِحيْثُ يُمكِنُ سَماعُها بِٱلسَّمّاعَتَيْنِ.

اَلتِّلِفِزْيُونُ

يَعْرِضُ ٱلتِّلِفِزْيُونُ صُوَرًا ثابِتَةً ولٰكِنَّا نراها مُتَحَرِّكَةً لِتَتابُعِها بِسُرْعَةٍ تَظَلُّ مَعها ٱلعَينُ مُحْتَفِظَةً بِٱلصُّورةِ ٱلسَّابِقَةِ. ولِلْحُصولِ عَلى هٰذا ٱلانْطِباعِ ٱلحَرَكِيِّ تُعْرَضُ على السِّتارةِ ثَلاثُون صُورَةً مُتَتالِيَةً في ٱلثَّانِيَةِ.

وتُقْسَمُ كُلُّ صُورةٍ إلى عَددٍ مِنَ **ٱلخُطوطِ** (٦٢٥ خطًّا في ٱلأَجْهِزَةِ ٱلحديثةِ و ٤٠٥ في القديمةِ) يَحْوي كُلُّ **خطٍّ** مِنها عِدَّةَ آلافِ جُزَيْئَةِ نُورٍ أَوْ ظُلْمَةٍ. ولِلْحصولِ على صُورةٍ جَيِّدةٍ تُفصَلُ ٱلخُطُوطُ إلى جُزَيئاتٍ دَقيقةٍ قَدْ تَصِلُ إلى ٢٠٠ أَلْفٍ في مَجموعِها. وتَحوي الكاميرا التلفزيونيَّةُ صَفيحةَ إشاراتٍ مُغَطَّاةً بِنِقاطٍ حَسَّاسَةٍ لِلضَّوْءِ (من مادَّةٍ كيماويَّةٍ لها هٰذه ٱلخاصَّة) تُقابِلُ كُلُّ نُقْطةٍ مِنْها إحدَى المِئَتَي أَلْفٍ مِن ٱلجزيئاتِ ٱلدَّقيقةِ. وتَتَحَرَّكُ حُزْمَةٌ إلكترونيَّةٌ ماسِحةً عَبْرَ ٱلصَّفيحَةِ خطًّا خطًّا وتَبْعَثُ ٱلإشاراتِ ٱلملتقَطَةَ مِنَ ٱلنِّقاطِ. ثُمَّ تُضَخَّم هٰذه الإشاراتُ وتُبَثُّ. وعِنْدَ استِقْبالِ هٰذه ٱلإشاراتِ في جِهازِ تِلِفِزْيُونِيٍّ تَجري تَقْوِيَتُها ثُمَّ تُعْرَضُ على أُنْبُوبِ ٱلصُّورةِ (أُنْبُوب ٱلأَشِعَّةِ ٱلكاثُودِيِّ) ٱلذي تَتَوَلَّدُ فِيه حُزْمَةٌ إلكترونيَّةٌ أُخْرَى. وتَتَحَرَّكُ هٰذه ٱلحُزْمَةُ ماسِحةً عَبْرَ السِّتارةِ ٦٢٥ مَرَّةً لِتَكَوِّنَ ٦٢٥ خَطًّا، وعِنْدَ نِهايةِ كُلِّ خَطٍّ تَرْتَدُّ ٱلحُزْمَةُ بسُرْعةٍ لتَبْدأَ ٱلخَطَّ ٱلتّاليَ. وتُمْسَحُ مَجموعةُ ٱلخُطوطِ السِّتِّمائةٍ وخَمْسَةٍ وعِشْرِينَ في $\frac{١}{٣٠}$ من ٱلثانية، وتُسَمَّى كُلُّ مَجموعةٍ مِنها **إطارًا**. وفي أَثْناءِ مَسْحِ ٱلحُزْمَةِ خَلْفَ سِتارةِ ٱلجهازِ تَضْعُفُ ٱلحُزْمَةُ أو تَشْتَدُّ بِٱلنِّسبةِ إلى ضَعْفِ أَوْ شِدَّةِ ٱلإشاراتِ ٱلمُرْسَلَةِ (أَيْ بِٱلنِّسْبَةِ إلى شِدَّةِ ٱلإشاراتِ ٱلمُلتَقَطَةِ مِنَ ٱلنِّقاطِ الحسَّاسَةِ لِلضَّوْءِ في ٱلكَاميرا). ولَمّا كانَتْ سِتارةُ الأُنْبوب ٱلكاثُودِيِّ فَلْوَرِيَّةً لِتغَطِّيها بِمَوادَّ كيماويَّة خاصَّةٍ فإنَّها تتأَلَّقُ بِصَدَماتِ ٱلحُزْمَةِ ٱلإلكترونيَّةِ وَيَشْتَدُّ هٰذا ٱلتَّأَلُّقُ ٱلضَّوْئِيُّ بِٱشْتِدادِ ٱلحُزْمَةِ. ويشْتَمِلُ ٱلجِهازُ أَيْضًا على مِجهارٍ لإنتاجِ الصَّوْتِ وعلَى نِظامِ مُزامَنَةٍ لِلتوفيقِ بَيْنَ ٱلصَّوْتِ والصُّورةِ ٱلمُبْتَعَثَيْن.

وفي ٱلتَّلْفَزَةِ ٱلمُلَوَّنةِ، الأَكْثَرِ تَعْقيدًا، تَعْمَلُ ثَلاثُ حُزَمٍ إلكترونيةٍ تَخْتَصُّ كُلٌّ مِنها بأَحدِ الأَلوانِ الأَوَّلِيَّةِ وهي الأَحمرُ والأزرقُ والأَخضرُ ناقِلَةً صُورةً مُستَقِلَّةً لِلْمَشْهَدِ. ويتَميَّزُ سِتارُ أُنبوبِ ٱلصُّورةِ بِتَغْشِيَةٍ مِنْ حَوالى $\frac{١}{٤}$ مليونِ نُقْطةٍ من مادَّةٍ مُتَفَسْفِرَةٍ مُوزَّعَةٍ في مَجموعاتٍ ثُلاثيَّةٍ فُسَيْفِسائيَّةٍ. وعندَما تُسَلَّطُ ٱلحُزْمَةُ ٱلإلكترونيةُ ٱلماسِحَةُ في جِهازِ ٱلاسْتِقْبالِ على هٰذه ٱلمجموعاتِ تَبْتَعِثُ ٱلواحِدةُ مِنْها ضوءًا بلَوْنِها فَقَطْ. أَيْ إنَّ ٱلنِّقاطَ ٱلمُتَفَسْفِرَةَ ٱلزَّرْقاءَ تَبْتَعِثُ ضَوءًا أَزْرَقَ عِنْدَما تَسْقُط عليْها ٱلحُزْمَةُ ٱلحامِلَةُ ٱلإشارةَ ٱلزَّرْقاءَ وهٰكذا ٱلحمراءُ والخَضْراءُ. وهٰذِهِ ٱلأَلْوانُ ٱلثلاثةُ يُمكِنُ مَزْجُها بِنِسَبٍ مُخْتَلِفَةٍ لِتُنْتِجَ بَقِيَّةَ ٱلأَلْوانِ ٱلأُخْرَى في ٱلمَشْهَدِ ٱلمُتَلْفَزِ.

ويُمكِنُ بَثُّ ٱلإرسالِ ٱلتِّلفزيونيِّ لاسِلْكِيًّا، كما هي ٱلحالُ في بَرامِجِ ٱلتَّسْلِيَةِ والإمتاعِ، أَوْ عَبْرَ ٱلأَسْلاكِ في **دائرةٍ تلِفِزْيونيةٍ مُقْفَلَةٍ**. وهٰذا ٱلنَّوْعُ من ٱلإرسالِ في دائرةٍ مُقْفَلَةٍ لَهُ أَغْراضٌ مُتَعَدِّدةٌ، فَبِواسِطَتِه مَثَلًا يُمكِنُ لِطلّابِ ٱلطِّبِّ مُشاهَدةُ تفاصيلِ عَمليَّةٍ جِراحيَّةٍ مَنْقُولةٍ من غُرْفَةِ ٱلعمليّاتِ في أَحَدِ المُسْتَشْفياتِ.

فَوْقُ
يَتمكَّنُ الطُّلّابُ في قاعةِ ٱلمُحاضَراتِ من مُشاهَدةِ عمليَّةٍ جِراحيَّةٍ تَجْري في غُرْفةِ ٱلعَمليّاتِ مِنَ ٱلمستشفى نَفْسِه بِواسِطَةِ ٱلتلفزةِ ٱلمُقْفَلَةِ ٱلدّائرةِ.

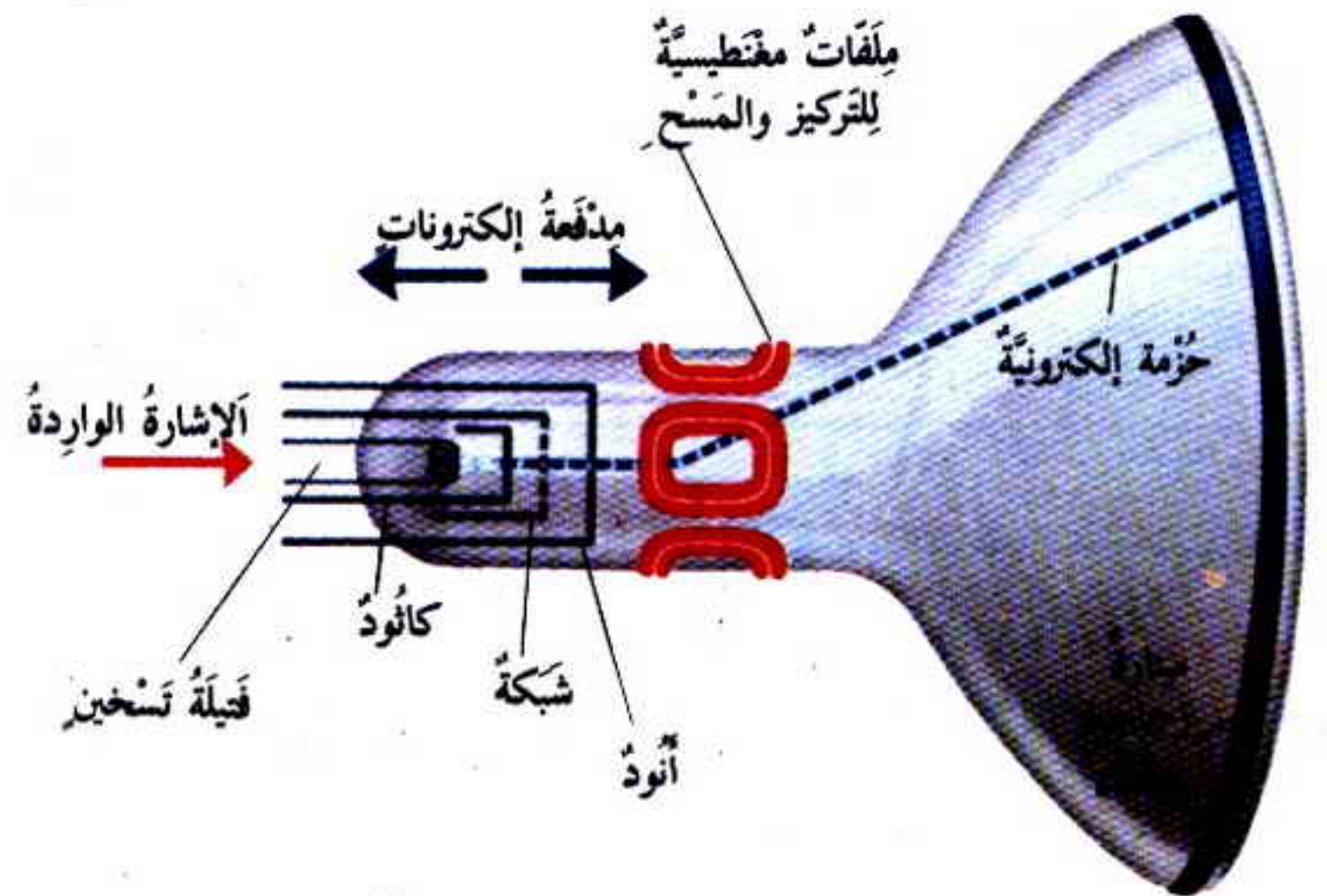
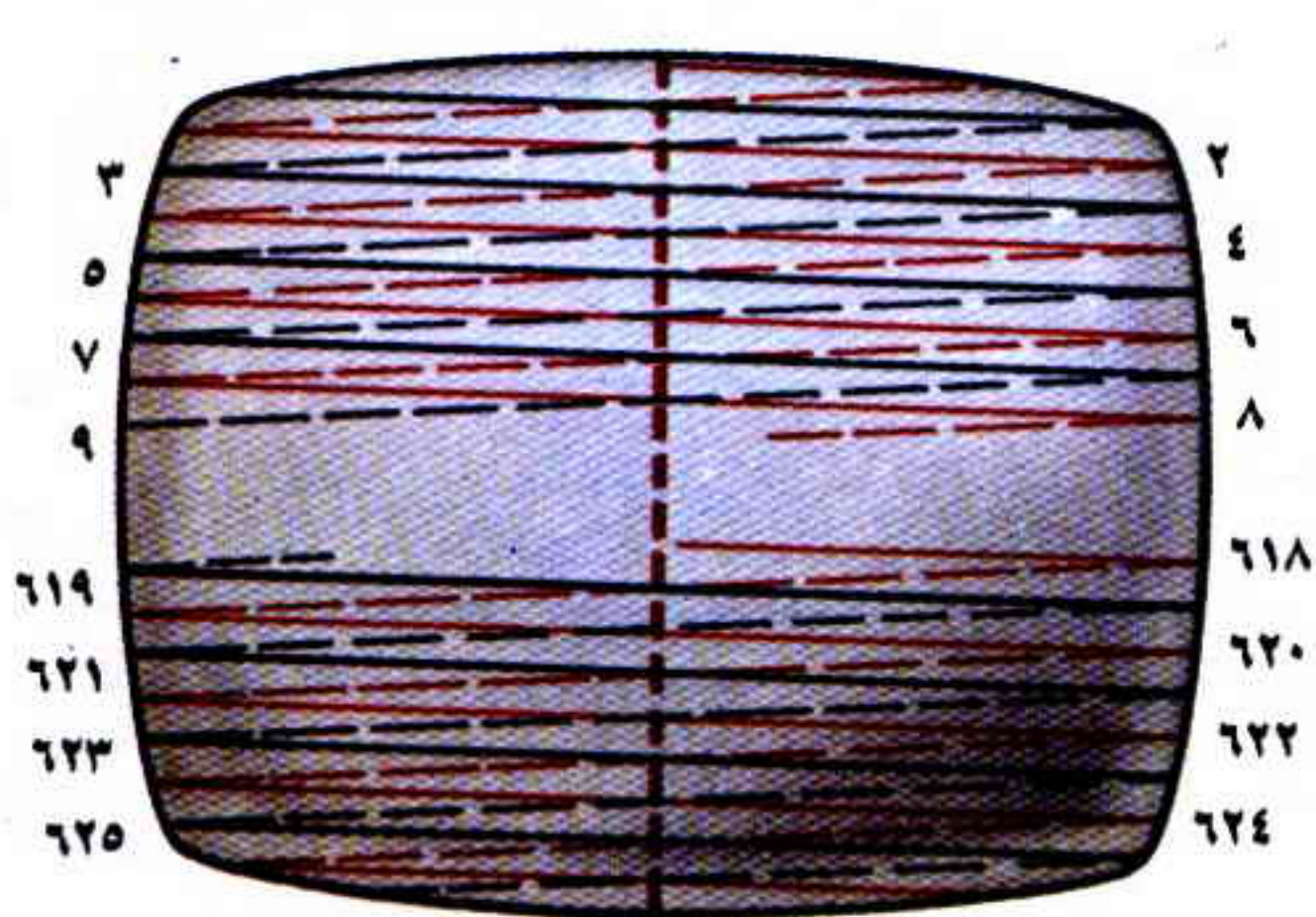
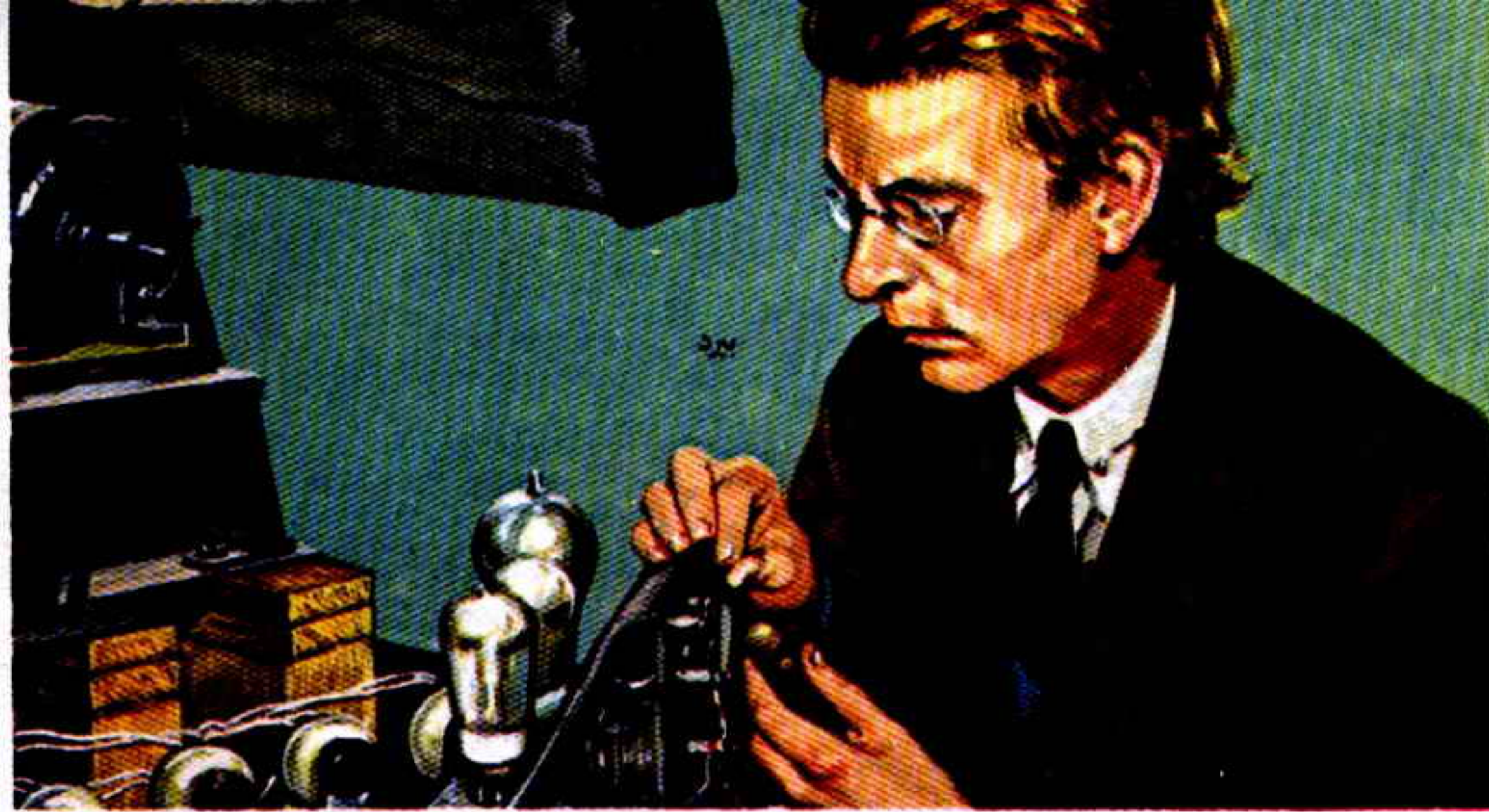
إلى اليسار
تَتَأَلَّفُ الكاميرا الإلكترونيةُ التِلِفزيونيَّةُ **(الايكونوسكوب)** من صَفيحةِ إشاراتٍ ومِنْ مِدْفعةِ إلكترونات تُنْتِجُ ٱلحُزْمَةَ الإلكترونيَّةَ. وفي مُقدَّمَةِ صَفيحةِ الإشاراتِ عَدَساتٌ شَبيهةٌ بِعدَساتِ ٱلكاميرا العاديَّةِ لِتَركيزِ ٱلمَشْهَدِ على صَفيحةِ الإشاراتِ. وعِنْدَ سُقُوطِ ٱلضَّوْء من ٱلمَشْهَدِ على **فُسَيْفِساءِ** ٱلنِّقاطِ ٱلحسَّاسةِ لِلضَّوْءِ تَبْعَثُ ٱلنِّقاطُ ٱلتي يَسْقُط عليها ضَوءٌ ساطِعٌ إشارةً إلى إلكترودِ الإشاراتِ حينَما تَمُرُّ عَبْرَها الحُزْمَةُ الإلكترونيَّةُ. أَما ٱلنِّقاطُ في جُزءِ ٱلصُّورةِ ٱلمُعْتِمِ فلا تُبْتَعَثُ مِنها إشاراتٌ. وهٰكذا تَتحَوَّلُ أَجزاءُ ٱلصُّورةِ ٱلمُنارةُ والمُعْتِمَةُ إلى سِلْسِلَةِ إشاراتٍ كَهْرَبائيَّةٍ تُؤَلِّفُ إشارةَ الصُّورةِ.

بيرد

إلى اليسار

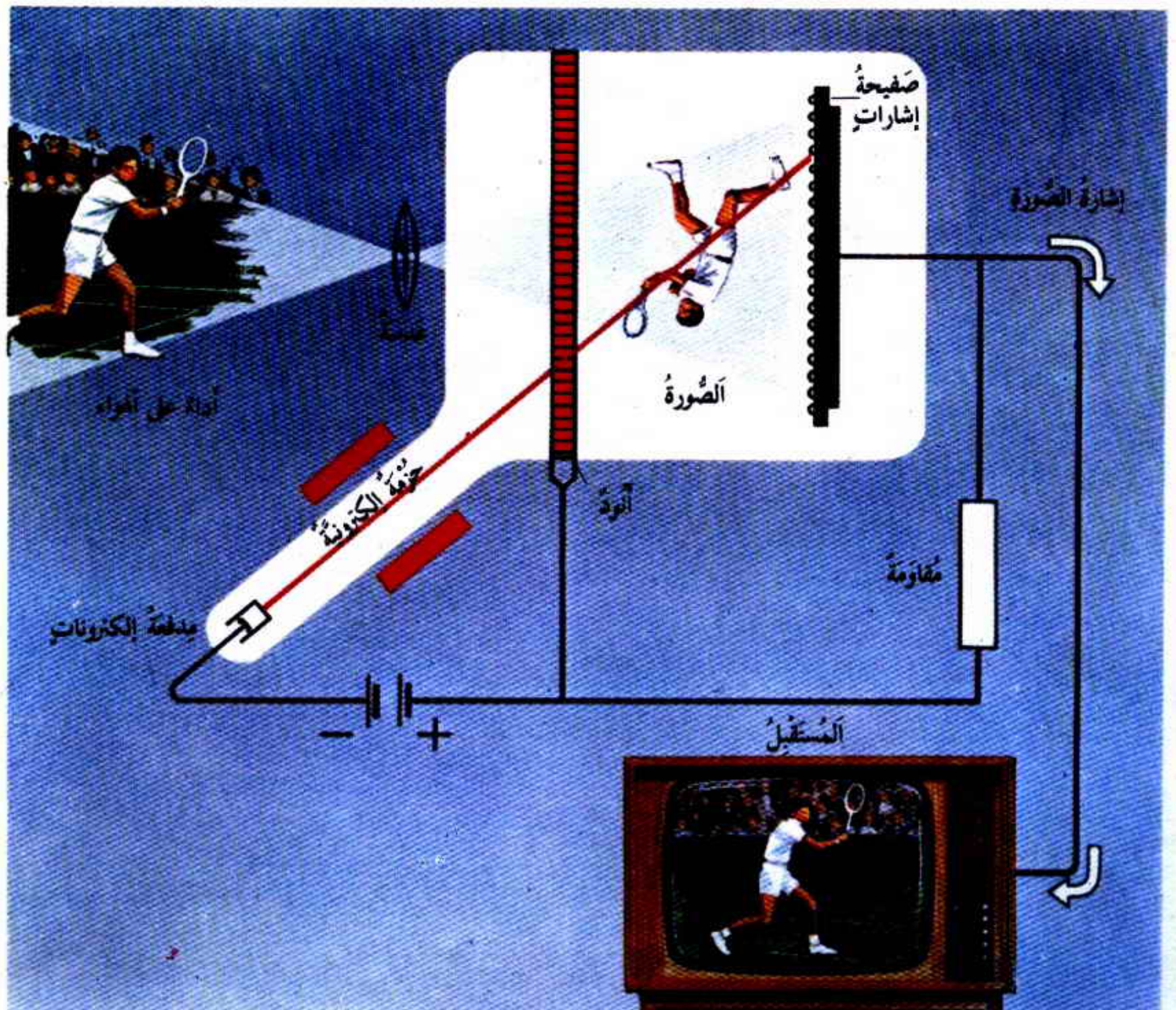
جُون لُوجي بيرد (١٨٨٨ – ١٩٤٦) مُهندِسُ كَهرباءٍ بريطانيٌّ حالَ سُوءُ صِحَّتِه دُونَ مُزاوَلَةِ المِهْنَة ، فانكَبَّ على دِراسَةِ التِلفزْيُون فَوَضَعَ أوّلَ نِظامِ تَلْفَزةٍ عَمليٍّ. وَقد استَخدمَ نِظامَهُ لِفتْرَةٍ قَصيرةٍ قَبْلَ اكتِشافِ طُرُقٍ أَفْضَلَ لِلتَّلْفَزة. وَقَد استخْدَمَ بيرد في نِظامِهِ الأشِعَّةَ دُونَ الحَمْراء.

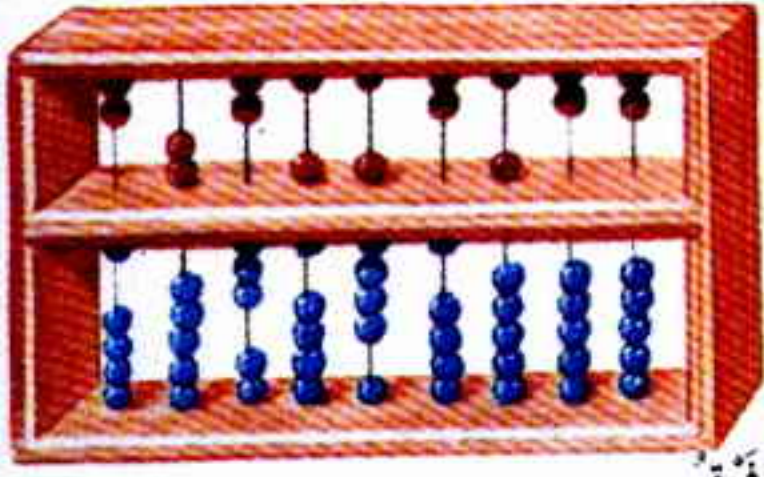
إلى أسْفَل

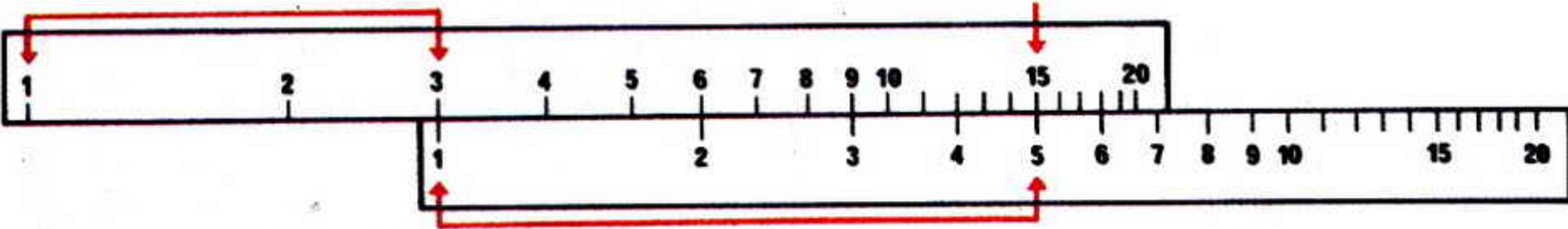
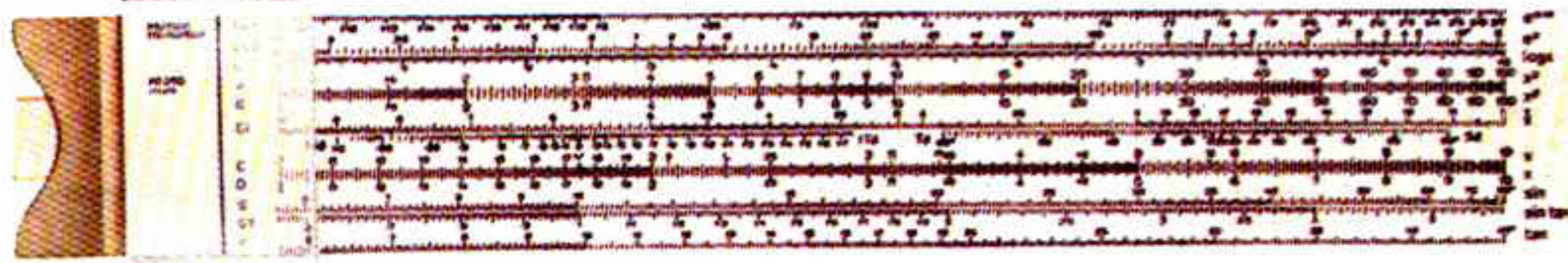
يتَألَّفُ أنبُوبُ الصُّورةِ (أنبوبُ الأشِعَّةِ الكاثوديُّ) مِنْ مِدْفَعَةِ إلكترونات تُنْتِجُ الحُزْمَةَ الإلكترونيَّةَ ومن مَجموعَةِ مِلَفّاتٍ مغنَطيسيَّةٍ لِتركيزِ الحُزمَةِ وجَعْلِها تَمْسَحُ (تَمرُّ عَبْرَ) السِّتارةَ. والسِّتارةُ مُغَشّاةٌ بمادَّةٍ فلُوريَّة تَبْتَعِثُ نُورًا (تتألَّقُ) عِنْدَ سُقُوطِ الحُزمَةِ الإلكترونيَّةِ عليها.

فَوق

تَمْسَحُ الحُزْمَةُ الإلكترونيَّةُ لِلتلفزيُون الأبيضِ والأسْودِ سِتارةَ الجِهازِ بشَكْلٍ مُتَعَرِّجٍ ، فَتَكَوِّنُ ثلاثِينَ إطارًا في الثانيَة في كُلِّ إطارٍ مِنْها ٦٢٥ خطًّا. وتَميلُ الخُطوطُ قليلًا لِأنَّ الحُزمَةَ تتّجهُ في مَسْحِها تدريجيًّا إلى أسْفَلِ السِّتارة. ويتَكَوَّنُ الإطارُ بمَسْحِ الخُطوطِ الوِتْريَّةِ أي الفَرْدِيَّةِ أوّلًا (تَبدُو في الشكلِ بخُطوطٍ سوداء) ثُمَّ الخُطوطِ الشَّفْعيَّةِ أي الزَّوْجيَّةِ (وتبدو في الرَّسم بخطوطٍ حَمْراء).

اَلحاسِباتُ

مُنْذُ أَقْدَمِ العُصُورِ أَخَذَ الإِنْسانُ يَستَخْدِمُ الآلاتِ الحاسِبَةَ لِتُساعِدَهُ في حِساباتِهِ. ومِنْ أُولَى هٰذهِ الآلاتِ المِعْدادُ. وهو جهازٌ عَدٌّ بَسيطٌ لا يَزالُ يُستَخدَمُ في بَعْضِ المَناطِقِ لإجراءِ العملِيّاتِ الحِسابِيَّةِ البَسيطةِ بِسُرْعَةٍ. وقَدِ اخْتُرِعَتْ حَديثًا مَكَناتٌ حاسِبَةٌ أَكْثَرُ تَعقيدًا باسْتِطاعَتِها إجْراءُ العملياتِ الحِسابِيَّةِ البَسيطةِ والبالِغَةِ التعقيدِ أُوتُوماتِيًّا.

وقَد اخْتَرَعَ جُون نابْيير نِظامَ اللُّوغاريتْماتِ فَسَهَّلَ بها عَمَلِيَّاتِ الضَّرْبِ والقِسْمَةِ. وفي هٰذا النِّظامِ يُمَثَّلُ كُلُّ عَددٍ بِعَدَدٍ آخَرَ يُسَمَّى لُوغارِيتْمًا لَهُ، ويَجْري ضَرْبُ الأَعْدادِ بِجَمْعِ لُوغارِيتماتِها، وتُقْسَمُ بِطَرْحِها. وفي هٰذا المَجالِ تُسْتَخْدَمُ جَداوِلُ خاصَّةٌ باللُّوغارِيتماتِ. ولِتَسْريعِ هٰذه العَمليّاتِ الحِسابِيَّةِ اخْتُرِعَتِ المِسْطَرَةُ الحاسِبةُ المَبْنِيَّةُ على أَساسٍ لُوغارِيتْمِيٍّ، وَهِيَ مُعِينَةٌ حِسابِيَّةٌ قَيِّمَةٌ صَغيرةٌ وسَهْلَةُ الحَمْلِ.

وكَثيرًا ما تَقْتَضي الحاجَةُ إجْراءَ العمليّاتِ الحِسابِيَّةِ بِدِقَّةٍ بالِغَةٍ كما هِيَ الحالُ في البُنُوكِ والمُختَبَراتِ العِلمِيَّةِ

فَوْقُ

يَتَأَلَّفُ المِعدادُ مِنْ خَرَزاتٍ تُحَرَّكُ حَوْلَ قُضبانِها في صَفَّيْنِ داخِلَ إطارِ المِعداد. وفي هٰذا النَّموذجِ تُمَثِّلُ الخَرَزةُ في الصَّفِّ العُلْوِيِّ الرَّقْمَ ٥ عِنْدَ خَفْضِها، وتُمَثِّلُ الخَرزةُ في الصَّفِّ السُّفْلِيِّ الرَّقْمَ ١ عند رَفْعِها. ويَستطيعُ المُتَمَرِّسُونَ بِهٰذه الآلةِ إيجادَ أَجْوِبَةٍ لِلعمليّاتِ الحِسابِيَّةِ بِسُرْعَةٍ تُوازي سُرْعَةَ بَعْضِ الآلاتِ الحاسِبةِ الحديثةِ.

فَوْقُ

في الصُّورَةِ العُلْوِيَّةِ رَسْمٌ لِلمِسطرةِ الحاسِبةِ وتَحتَها رَسْمٌ يُبَيِّنُ استخدامَ هٰذه المِسطرةِ في عَمليَّةِ الضَّرْبِ. لاحِظْ أَنَّ كِلا شِقَّي المِسْطرةِ يَحْمِلُ الأَرْقامَ مُرَتَّبَةً لُوغارِيتْمِيًّا (لا على أَبعادٍ مُتَساوِيَةٍ)، وهُما مُثَبَّتانِ في وَضْعٍ يُبَيِّنُ عَمليَّةَ الضَّرْبِ ٣ × ٥ = ١٥. كما يُلاحَظُ أَنَّ كُلَّ رَقْمٍ في شِقِّ المِسطرةِ السُّفْلِيِّ يُقابِلُه رقمٌ يُضاعِفُه ٣ مَرّاتٍ في الشِّقِّ العُلْوِيِّ. وباستِطاعتِكَ صُنعُ مِسطَرةٍ كَهٰذه مَنْزِلِيًّا واستِخدامُها بِنَتائجَ مُرْضِيَةٍ، ولكنَّها لَنْ تَكُونَ دَقيقةً كالَّتي تعطيكَها المِسطرةُ الحاسِبةُ الَّتي تُعرَضُ في الأَسْواقِ.

إلى اليسار

مَكَنَةُ تَسجيلِ النَّقْدِ. يَكْبِسُ (أَوْ يَدُقُّ) العامِلُ مَفاتيحَ المَكَنةِ فَوقَ دُرْجِ النُّقودِ مُبَيِّنًا أَسْعارَ السِّلَعِ المُشتَراةِ إفرادِيًّا، ثُمَّ يَكْبِسُ زِرَّ الجَمْعِ فَتُجْري المَكَنةُ عمليَّةَ الجَمْعِ العُمُومِيَّةَ لِكُلِّ الأَسْعارِ المُسَجَّلةِ ويَظْهَرُ حاصِلُ الجمعِ في النافِذةِ الإطارِيَّةِ في أَعْلَى المَكَنةِ.

إلى اليسار

حاسِبَةٌ إلكترونيَّةٌ. بالإمكانِ إجْراءُ عَمَلِيّاتِ الجَمْعِ والطَّرْحِ والضَّرْبِ والقِسمةِ بِهٰذه الآلةِ. وتَستطيعُ أَنواعٌ أُخْرَى مِنَ الحاسِباتِ إجْراءَ عمليّاتٍ حِسابيَّةٍ أَكْثَرَ تعقيدًا.

والصّناعاتِ الواسعةِ فتستخدمُ الحاسباتُ الكهربائيّةُ لهٰذا الغَرَضِ. وهٰذه الحاسباتُ فائقةُ السُّرعةِ وبعضُها يعملُ بالبطّاريّاتِ، كما إنَّ بعضَها الآخرَ منَ الصِّغرِ بحيثُ يتّسعُ لهُ الجيبُ بسهولةٍ.

وكانَ العالِمُ الرِّياضيُّ شارْل باباج قَدْ صَنَعَ أوّلَ حاسبةٍ حديثةٍ في أوائلِ القرنِ التاسعَ عشرَ فكانَتْ تقومُ بسلسلةٍ من العمليّاتِ الحسابيّةِ وتُعطي الجوابَ النّهائيَّ مطبوعًا. ثُمَّ تحوَّلَ إلى اختراعِ آلةٍ أفضلَ أداءً ولكنَّ اهتمامَهُ فَتَرَ فلَمْ يَرَ اختراعُه النُّورَ.

والحاسباتُ العصريّةُ لا تعملُ بالرّوافعِ والمُسنّناتِ كحاسبةِ باباج، بَلْ بداراتٍ كهربائيّةٍ بالغةِ التّعقيدِ بداخلِها. وقدِ استُخدِمتِ الصِّماماتُ الكهربائيّةُ باديءَ ذي بدْءٍ فكانتِ الحاسباتُ الإلكترونيّةُ الأولى ضخمةً جدًّا وصعبةَ التّشغيلِ. لكنَّ الحالَ تغيّرتْ باختراعِ **الترانزستور** (انْظُرْ صفحةَ ٢٣٨) **والدّارةِ المُندمجةِ** اللّذَيْنِ أحدثا ثورةً في صناعةِ الحاسباتِ. فالدّاراتُ المُندمجةُ صغيرةُ الحجمِ جدًّا وعاليةُ الاعتماديّةِ، وهيَ فائقةُ السُّرعةِ بخسةُ الثّمنِ وتدومُ طويلًا.

وباستطاعةِ الحاسبةِ الإلكترونيّةِ إجراءُ العمليّاتِ الحسابيّةِ وتقديمُ الأجوبةِ والحلولِ للمسائلِ المُعقّدةِ في دقائقَ أوْ حتّى في ثوانٍ، ومثلُ هٰذا العملِ قدْ يقتضي الإنسانَ أيّامًا أوْ حتّى أشهرًا للقيامِ بهِ. وقبْلَ أنْ تُصبحَ الحاسبةُ النّظّامةُ قادرةً على أداءِ هٰذه المُهمّاتِ لا بُدَّ مِنْ تزويدِها بالتعليماتِ اللّازمةِ لأداءِ هٰذهِ العمليّاتِ بدقّةٍ. وتُسجّلُ التعليماتُ المُعطاةُ للحاسبةِ حوْلَ كيفيّةِ استخدامِ الأرقامِ، والمعلوماتُ الأُخرى الّتي تُغذّى بها، بلغةٍ خاصّةٍ مكتوبةٍ بإشرافِ مُشغِّلِ الحاسبةِ أوْ مُبرمِجِها، وتؤلّفُ التعليماتُ والمعلوماتُ الّتي تُغذّى بها الحاسبةُ **بَرْنامجَ الحاسبةِ**. وإذا ما أعطَتِ الحاسبةُ جوابًا خاطئًا فإنَّ اللّومَ يقعُ على المُبرمجِ لا على الحاسبةِ لأنه يكونُ قدْ أخطأَ البرمجةَ.

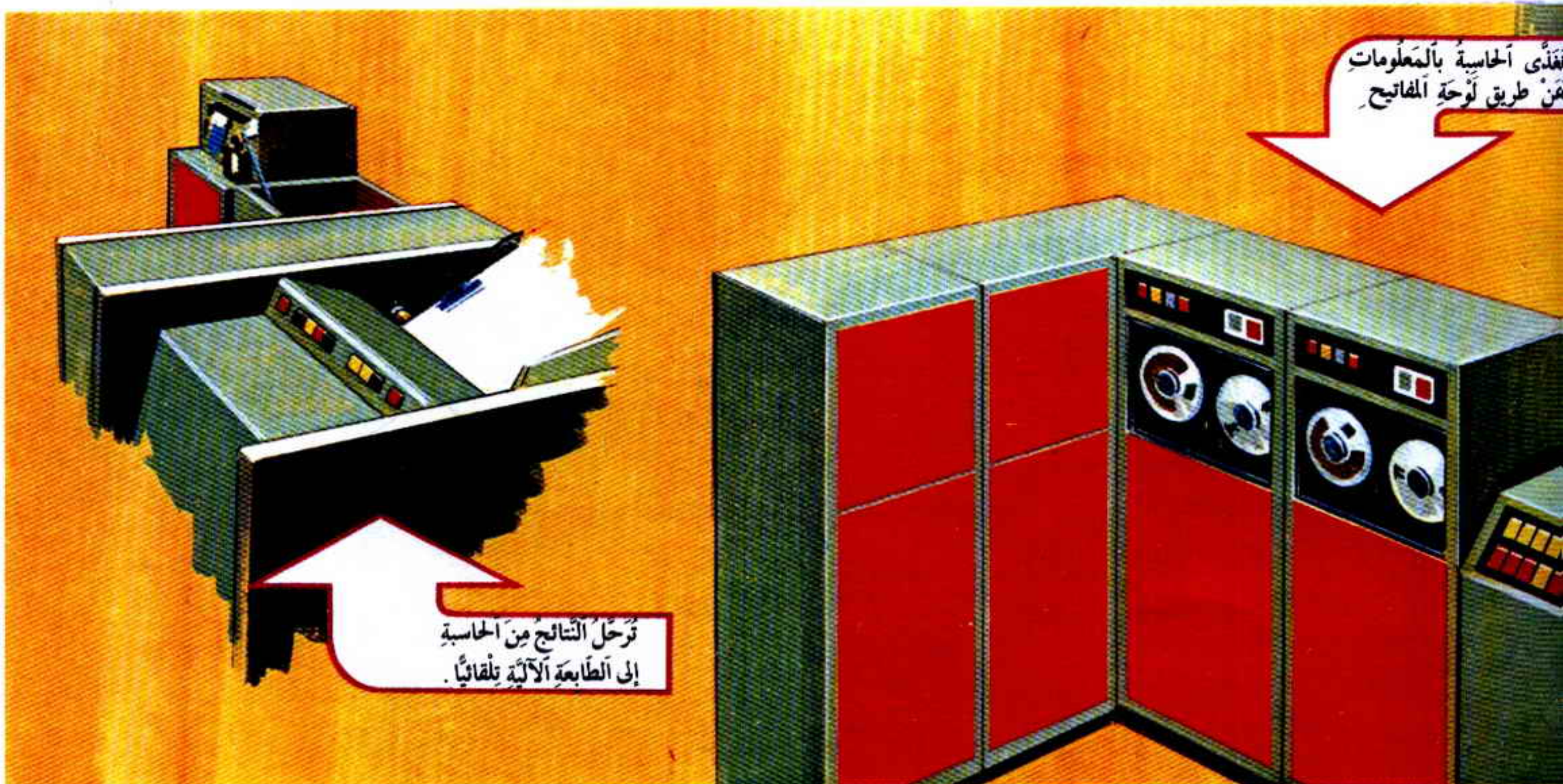
وتختلفُ الحاسبةُ الإلكترونيّةُ عنِ الحاسباتِ الكهربائيةِ البسيطةِ باحتوائها على **ذاكرةٍ** تستطيعُ تخزينَ المعلوماتِ واستخدامَها في وقتٍ لاحقٍ وفي هٰذا المجالِ يُمكنُ مُقارنَتُها بالعقلِ البشريِّ. والواقعُ إنَّ بمقدورِها حلَّ المسائلِ بسرعةٍ أكثرَ ودقّةٍ أشدَّ منَ العقلِ البشريِّ. وباستطاعةِ هٰذا الدِّماغِ الإلكترونيِّ القيامُ بالتّرجمةِ مِنْ لغةٍ إلى أُخرى أوِ المُنازلةُ في لُعبةِ الشِّطْرَنْج. لكنَّه في كُلِّ ما يقومُ به مِنْ أعمالٍ لا يستطيعُ اتّخاذَ قراراتٍ ولا تخليقَ أفكارٍ جديدةٍ فهوَ يُؤدّي فقطْ ما بُرمِجَ سلفًا لأدائِه.

إلى أسْفَلُ

شارْل باباج (١٧٩٢ – ١٨٧١) عالِمٌ رياضيٌّ بريطانيٌّ صمّمَ أوّلَ حاسبةٍ وأسْماها مكنةَ الفُروق. نال مِنْحَةً من الحكُومة في هٰذا السّبيلِ فأنفقَها بالإضافة إلى جُزْءٍ مِنْ ثَرْوته ونجحَ باختراعِ آلةٍ أفضلَ تُضارعُ الحاسباتِ الحديثةَ. لكنّهُ تُوُفّيَ دُونَ إكمالِ آلتِهِ.

باباج

إلى أسْفَلُ

تحتاجُ الحاسبةُ الإلكترونيّةُ الحديثةُ إلى فُسْحةٍ رَحبةٍ. والحاسبةُ الّتي تَراها في الرّسْمِ هيَ مِنَ النّوعِ الصّغيرِ نوْعًا، وتتوزّعُ أجزاؤُها في ثلاثِ خزائنَ حديديّةٍ. ولهٰذه الحاسبةِ ذاكرةٌ كبيرةٌ وباستطاعتِها تنفيذُ برامجِها في أجزاءٍ صغيرةٍ مِنَ الثّانيةِ.

تُغذّى الحاسبةُ بالمعلوماتِ عَنْ طريقِ لَوْحةِ المفاتيحِ

تُرحَّلُ النّتائجُ مِنَ الحاسبةِ إلى الطّابعةِ الآليّةِ تلقائيًّا.

اَلرّادارُ

أُشْتُقَّتْ كلِمةُ **رادار** مِنْ كَلِماتٍ إنكليزيةٍ تَعْني « اَلكَشْفَ والمُحاذاةَ بالرّاديو » وَهِيَ في اَلواقِعِ شَرْحٌ مُوجَزٌ لعملِ هٰذا الجهازِ. ويتأَلَّفُ جهازُ الرادارِ مِن نِظامِ إرسالٍ واستِقْبالٍ راديٍّ يَستَخدِمُ أَمْواجًا لاسِلكيَّةً بالِغَةَ القِصَرِ – طُولُها بِضْعَةُ سَنْتيمترات فقط – تُبَثُّ من هَوائيٍّ خاصٍّ. وبالإمكانِ تَوجيهُ هٰذا الهوائيِّ، ومِنْ خَلْفِه صَحْنُهُ العاكِسُ، في أيِّ اتِّجاهٍ، فالتِقاطُ الإشاراتِ الواردةِ يكُونُ على أشدِّه حينَما يكُونُ صَحْنُ الرّادارِ باتِّجاهها مُباشَرةً. ويَعْمَلُ هَوائيُّ الرّادارِ عادةً أُوتُوماتيًّا دائرًا دَوْراتٍ كامِلةً بِحَيْثُ يُمكِنُه إرسالُ الإشاراتِ والتِقاطُها في شَتَّى الاتِّجاهات.

وأَمْواجُ الرّادارِ هيَ أَمْواجٌ راديَّةٌ تَتراوحُ بَيْنَ القَصيرةِ والبالِغَةِ القِصَرِ تَرْتَدُّ عِند اصطِدامِها بِمُعظمِ الأَجْسامِ. ويَعْتَمِدُ الرّادارُ على هٰذِه الخاصَّةِ في تَقديرِ بُعدِ الهَدَفِ الذي ارتدَّتْ عَنْهُ الأَمْواجُ المُرْسَلَةُ إذا كان ثابتًا ومَعرِفَةِ سُرعَتِه واتِّجاهِها إذا كان مُتحرِّكًا. ففي ذٰلِكَ الجُزْءِ من الثانِيَةِ الذي تُبَثُّ فيه الأَمْواجُ الراديَّةُ من المُرسِلِ وترتَدُّ عَنْ هَدَفِها عائدةً إلى مَحطَّةِ الرّادارِ يَكُونُ المُرسِلُ قَدْ فُصِلَ عَنِ الدّارةِ لِتَمكينِ الهوائيِّ من استِقْبالِ الإشاراتِ العائدةِ وتوصيلِها إلى أُنبوبِ أشِعَّةٍ كاثُوديٍّ خاصٍّ يُشْبِهُ أُنبوبَ الصُّورةِ التلِفزيُونيَّ. فتتكوَّنُ على هٰذا الأُنبوبِ صُورةٌ لِما كشفَتْهُ الحُزْمَةُ الرّاديَّةُ.

والإشارةُ الرّاديَّةُ العائدةُ إنْ هي إلّا صَدًى مُنعَكِسٌ عَن ذٰلكَ الجسمِ الصُّلْبِ الذي اصْطَدَمَتْ بِهِ الأَمْواجُ المُرْسَلَة. والمَعروفُ أنَّ بَعْضَ الأَجْسامِ، وخاصَّةً الفِلِزِّية (المَعدنيَّة) مِنها، تعكِسُ إشاراتٍ قَوِيَّةً فتَبْدُو صُوَرُها ساطِعَةً على شاشَةِ الرّادارِ، بَيْنَما تَعكِسُ أجْسامٌ أُخْرى، وبخاصَّةٍ اللافِلِزِّيَّةُ، إشاراتٍ ضَعيفةً فتَبدُو صُوَرُها باهِتَةً على شاشَةِ الرّادار. كما إنَّ الأَجْسامَ الكبيرةَ تعكِسُ أمْواجًا أكْثَرَ وَصُوَرًا أكْبَرَ، وهٰكذا فإنَّ عامِلَ الرادارِ الخبيرَ يَستَطيعُ مَعْرِفَةَ ما إذا كانَ الذي يَراهُ على شاشةِ الرّادارِ رَفًّا مِنَ الطُّيورِ أَوْ سِرْبًا مِنَ الطائراتِ النَّفّاثَة.

وَقدْ أَدْخَلَ البريطانيُّون على الرّادارِ تَحْسيناتٍ تِقْنِيَّةً مُهِمَّةً عامَ ١٩٤٠، فَنَجَحُوا في تَطْويرِ صِمامِ إرْسالٍ (عُرِفَ بالمَغْنيطرون) يُمكِنُهُ تَوليدُ إشاراتٍ عاليةِ القُدْرةِ بأَمْواجٍ راداريَّةٍ بالِغَةِ القِصَرِ، وبذٰلِكَ بَدَأَ **نِظامُ الرّادارِ الدَّقيقُ الأَمْواج**. وأَصْبَحَ بالإمكانِ استِخْدامُ هَوائيّات أَصْغَرَ رُكِّبَتْ في الطائراتِ. وبفَضْلِ هٰذا الاختراعِ رَبِحَ الإنكليزُ مَعْرَكَةَ بريطانيا في الحربِ العالَميَّةِ الثانيةِ.

ويُسْتَخْدَمُ الرّادارُ حاليًّا كَمُعِينٍ مِلاحيٍّ لِلسُّفُنِ والطائراتِ يُنَبِّئُها بالأَحْوالِ الجَوِّيَّةِ في المَناطقِ الّتي تَتقَدَّمُ نَحْوَها ويُنْذِرُها مِنَ الارتطامِ بسُفُنٍ أَوْ طائراتٍ أُخْرى في حُلْكَةِ الظُّلمةِ أَوْ عند تكثُّفِ الضَّبابِ. وفي الحَرْبِ يُستَخْدَمُ الرّادارُ في مُراقَبَةِ طائراتِ العَدُوِّ وكَشْفِ مَواقِعِها وتَوْجيهِ المَدافعِ المُضادَّةِ أَوِ الصَّواريخِ أُوتُوماتيًّا لِلتصَدِّي لَها.

إلى اليسار

تعتمِدُ إمكانيَّةُ كَشْفِ مَواقِعِ الأَجْسامِ، بانعكاسِ الحُزْمَةِ الرّاداريَّة، على عُلُوِّ الجِسْمِ فَوْقَ سَطْحِ الأَرْضِ وعلى زاويةِ التوجيهِ لِهَوائيِّ الرّادار. فَقَدْ تَستَطيعُ طائرةٌ تفادِيَ كَشْفِ الرّادارِ لَها بالطَّيَرانِ على ارْتِفاعٍ خَفيضٍ جدًّا.

أَقْصَى اليسار

يُبيِّنُ أُنبوبُ أشِعَّةِ الكاثُود (شاشَةُ الرّادار) الإشاراتِ الرّاداريَّةَ المُرتَدَّةَ (الصَّدَوِيَّة) ويَقيسُ بُعْدَ الجسم (أَوِ الإعْصار) الذي ارْتَدَّتِ الإشاراتُ عَنْهُ بالإضافةِ إلى سُرعَةِ ذٰلكَ الجِسْمِ واتِّجاهِه. وتَرى في أَعْلى الشّاشَةِ الرّاداريةِ في الرَّسْمِ حَلَزونًا يُمَثِّلُ إعصارًا، بَيْنَما تُمَثِّلُ الإشاراتُ الأَخَفُّ كثافةً مناطِقَ مَطَرٍ غزيرٍ.

أَقْصَى اليسار

مِنْ أهمِّ استِخداماتِ الرّادارِ الحديثةِ الاعتمادُ عَلَيْه في إرشادِ الطائراتِ عِنْدَ الحَطِّ في المَطاراتِ، خاصَّةً إذا كانَ الطقْسُ رَديئًا. ولهٰذا الغَرضِ تُبَثُّ إشارتانِ من الأَرْضِ تُبَيِّنُ إحداهُما لِلطيّارِ اتِّجاهَ الاقترابِ الصحيحِ بالنِّسبةِ إلى الطائرةِ وتُبيِّنُ الأُخْرى الارتفاعَ الذي يَجِبُ أَنْ تَسيرَ فيه الطائرةُ. وهٰكذا يتمكَّنُ الطيّارُ مِنْ مَعرِفَةِ وَضْعِهِ بدِقَّةٍ في كُلِّ لَحْظَةٍ مِنْ لَحَظاتِ اقترابِهِ نَحْوَ مَدْرجِ الهُبُوطِ.

إلى اليسار

تَستَخدِمُ مُعظَمُ محطّاتِ الرّادارِ الهوائيَّ نَفْسَهُ للإرسالِ وللاستِقبال. فخلالَ الفترةِ اللَّحظيَّةِ بَيْنَ نَبْضَةِ إرسالٍ وأُخرى يُوصَلُ المُستَقبِلُ بالهوائيِّ تِلقائيًّا بواسطةِ مِفتاحٍ يَعْمَلُ أُوتُوماتيًّا، لِتَلَقِّي الإشارةِ المُرتَدَّةِ. ويَتَحَكَّمُ هٰذا المِفتاحُ صِمامٌ مُزامَنَةٍ يُناوِبُ وَصْلَ الهَوائيِّ بالمُرْسِلِ مَرَّةً وبالمُستَقبِلِ أُخرى.

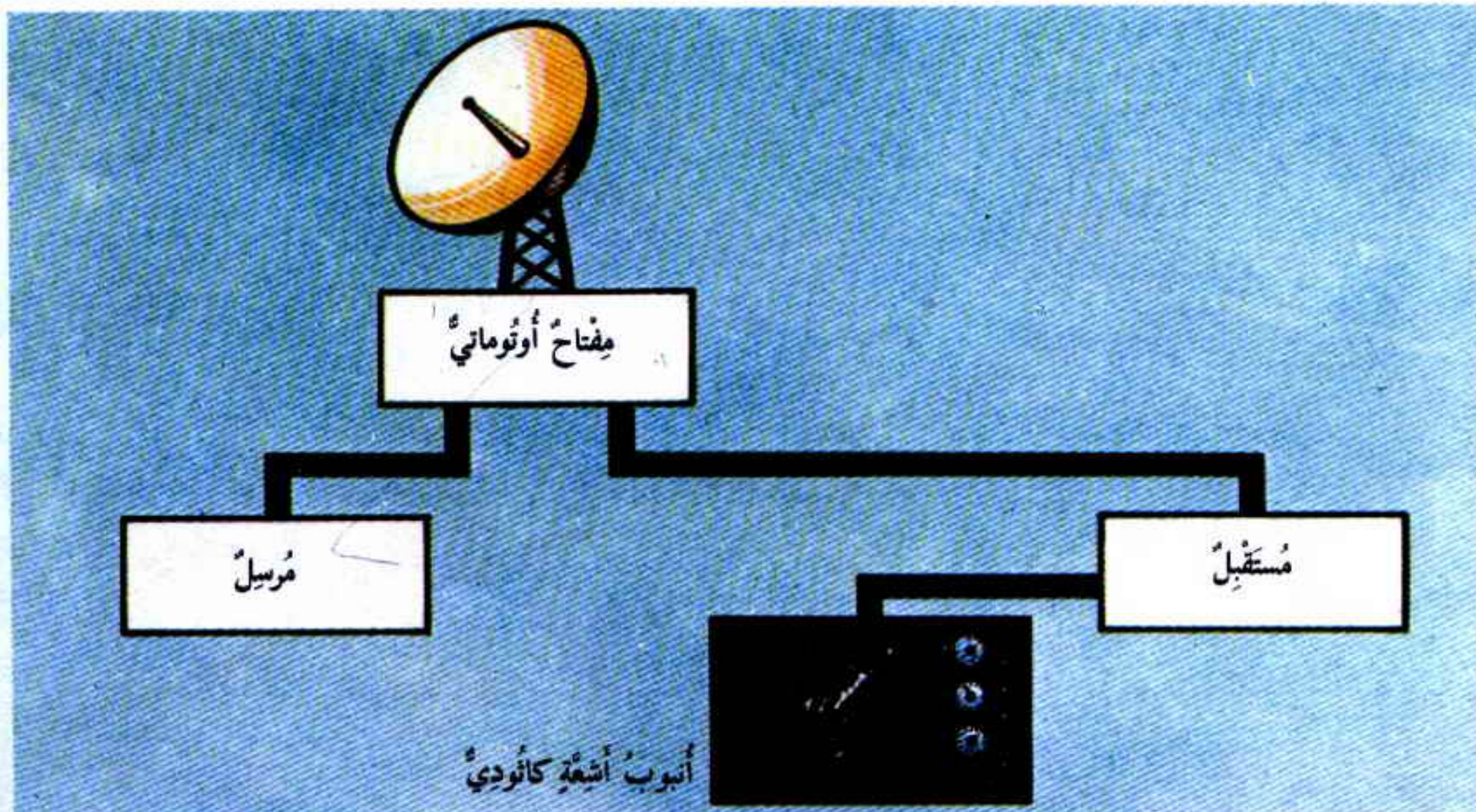
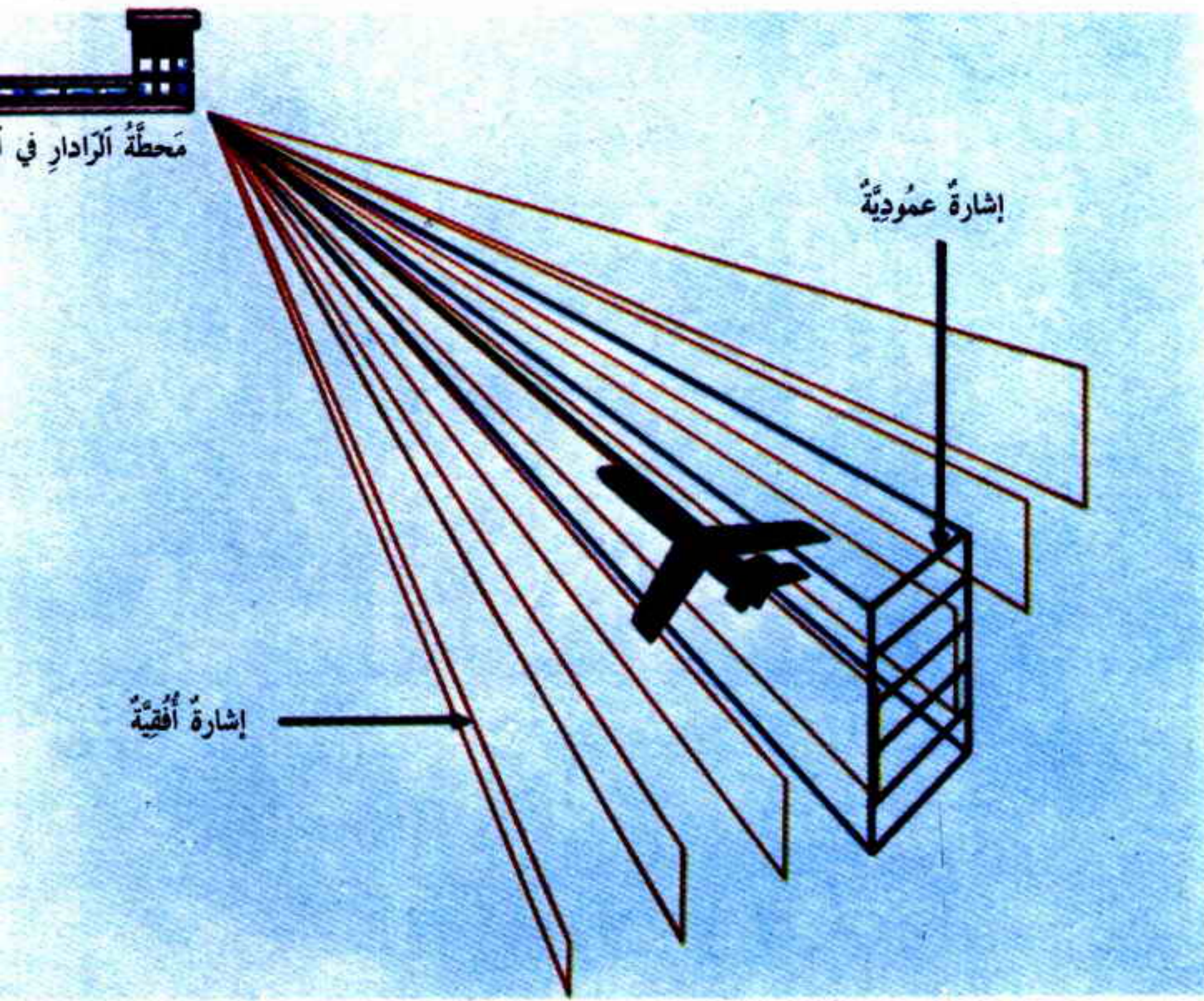
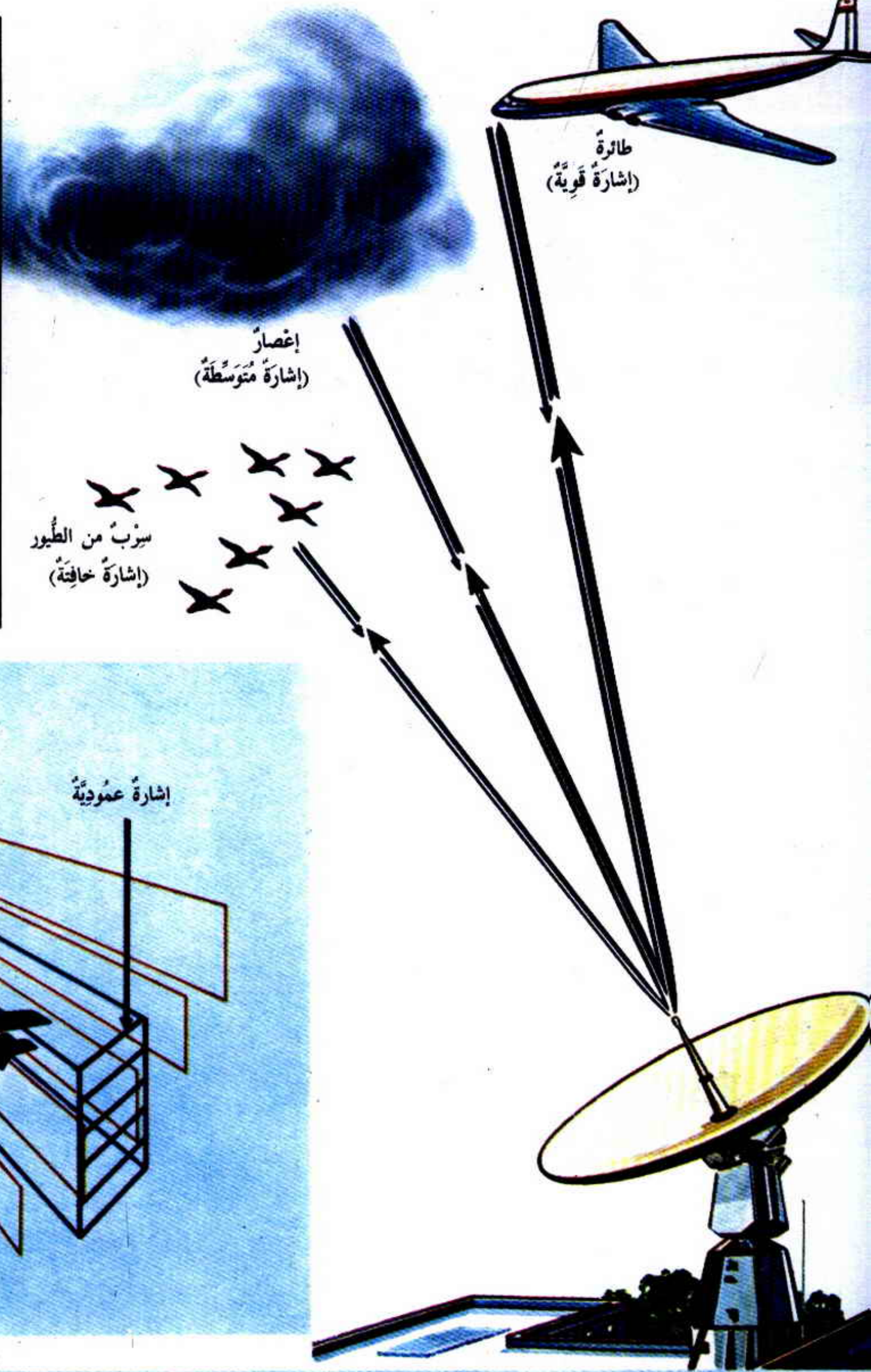
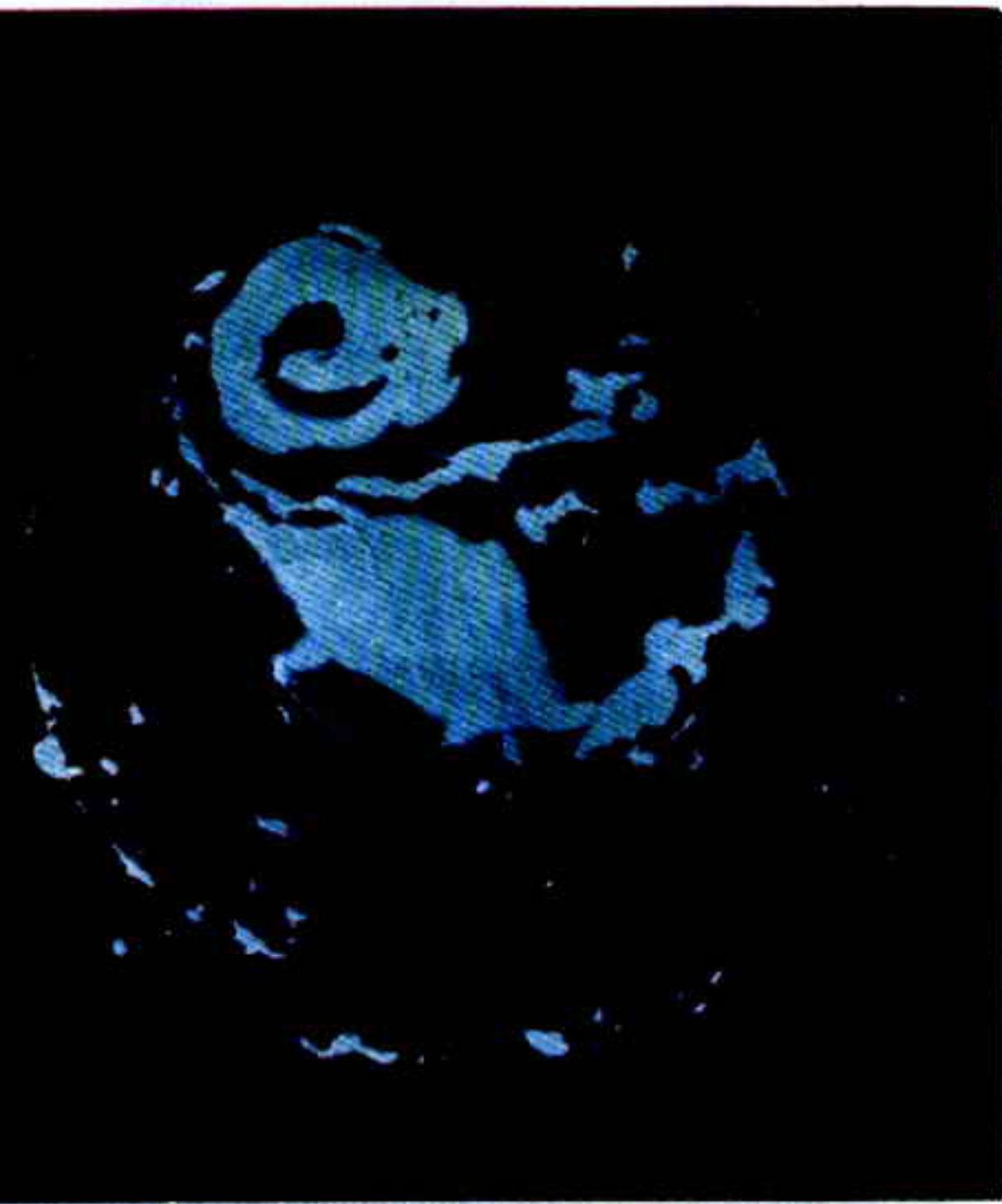
طائرةٌ
(إشارةٌ قويّةٌ)

إعصارٌ
(إشارةٌ مُتوسِّطةٌ)

سِرْبٌ من الطُّيور
(إشارةٌ خافِتةٌ)

مَحطَّةُ الرّادارِ في

إشارةٌ عمُوديَّةٌ

إشارةٌ أُفقيَّةٌ

إلى اليمين

تَستَخْدِمُ الطّائرةُ الرّادارَ للكَشْفِ عن الطائراتِ في المَجالِ الجويِّ حَوْلَها، ولتَحْديدِ مَواقِعِ الأهْدافِ على الأرْضِ وللتّحذيرِ من العَواصِفِ المُقْتَرِبةِ وكَذٰلك للاستِرْشادِ المِلاحيِّ. في مُعظمِ طائراتِ الخُطوطِ التّجاريةِ يُركَّبُ جِهازُ الرّادارِ في المُقدِّمةِ تَحْتَ دِرْعٍ وِقائيٍّ (يُسمّى مَخْروطَ المُقدِّمةِ). وهٰذا الدِّرعُ غيرُ مُوصِّلٍ لِلكهرباء وإلّا لَمَا تمكَّنتْ أمْواجُ الرّادارِ من اختِراقِهِ.

فون براون

وَقودٌ داسِرٌ (يتكوّن من موادّ مشتعلة ومؤكسِدة)
زعنفات (جنيحات)
الدفع
مضخّة توربينيّة
فوهة النفث
ردّ الفعل
حجرة الاحتراق
الدفع
أكسجين سائل

فوقُ
ڤرنر فون براون. ولدَ في ألمانيا عامَ ١٩١٢ وتخرّجَ مُهندِسًا فيها، وعَمِلَ في الحربِ العالميّةِ الثّانيةِ على تطويرِ صَواريخ ف ٢. وانتقلَ بعْدَ الحرْبِ إلى أميركا وأشْرَفَ على برنامج إكسبلورر للأقمارِ الصّناعيّةِ الّتي أُطلِقَ أوّلُها إلى مَدارٍ حَوْلَ الأرْضِ في كانون الثّاني عامَ ١٩٥٨ من قاعِدةِ كيب كِنِدي (كاناڤيرال) بِفلوريدا.

فوقُ
صارُوخُ ف ٢ أوّلُ الصّواريخِ المُسيّرةِ بِوَقودٍ (داسِر) سائلٍ. طولُه ١٤,٥ مترًا ووزنُه حَوالى ١٣ طنًّا منها ٩ أطنانٍ مِنَ الوَقودِ الدّاسِرِ (كحُول إيثيليّ وأكسجين)، ويبلغُ مَداهُ ١٥٠ كيلومترًا. استُخدِمَ هذا الصاروخ لِقَصْفِ مَدينةِ لندن في الحرب العالميّةِ الثانية، ويُعْتَبَرُ أساسَ بَرامجِ الصواريخِ الفضائيّةِ الّتي طُوِّرَتْ في الولاياتِ المتحدة.

اَلصّارُوخُ

عَرفَ الصّينيُّونَ الصّواريخَ الحربيَّةَ مُنْذُ القَرْنِ الحادي عَشَرَ وانتقلَ سِرُّ صناعَتِها منهُم إلى العَرَبِ وعنهُم أخذَهُ الأوروبِّيُّونَ. وتطوَّرَ استِخدامُ الصّواريخِ الحربيَّةِ في القَرْنِ التاسِعَ عَشَرَ بجُهُودِ السِّرِ وليَم كونْجريف. وكانَ الألْمانُ سبّاقينَ في هٰذا المَجالِ حِينَ استخدمُوا صواريخَ ف ٢ لِقَصْفِ مَدينةِ لَنْدَن في أواخرِ الحَرْبِ العالميَّةِ الثانيةِ. ومن هٰذه الصواريخِ نَفْسِها طَوَّرَ الأميركيُّون والرُّوس صَواريخَهمْ لِغَزْوِ الفَضاءِ.

يَنْدفِعُ الصّارُوخُ، كما الطائرةُ النَّفّاثَةُ (انْظُرْ صَفحةَ ٢٣٢)، بِرَدِّ الفِعْلِ النّاتجِ عن انبثاقِ الغازاتِ السّاخنَةِ المُوَلَّدةِ في حُجرةِ الاحتِراقِ بشِدَّةٍ مِنْ فُوّهاتِ النَّفْثِ الخَلْفِيَّةِ. لٰكِنَّ الصّارُوخَ يَخْتلِفُ مِنْ حَيْثُ إنّه يَحْمِلُ الأُكسجينَ اللّازِمَ لأَكْسَدةِ وَقُودِه – سائلًا أَوْ مُجَمَّدًا – بَيْنَما النّفّاثَةُ تأْخُذُ أُكسجينَ الهواءِ لاحتِراقِ الوَقودِ فيها. لِذلك يَتميَّزُ الصّارُوخُ بالقُدْرةِ على الانْطِلاقِ خارِجَ أَجْواءِ الأرْضِ حَيْثُ يَنْعدِمُ الهواءُ، وهُوَ الوسيلَةُ الوَحيدَةُ المُتَيَسِّرَةُ حاليًّا لِريادةِ الفضاءِ.

ولإطلاقِ قَمَرٍ صناعيٍّ في مَدارٍ حَوْلَ الأرْضِ يَنْبَغي إكْسابُه سُرعةً تَبْلُغ ٢٩٠٠٠ كيلومترٍ في السّاعَةِ. ونَذكُرُ أنَّ أوّلَ هٰذه التّوابعِ الأرْضيّةِ كانَ القَمَرَ الرُّوسيَّ سْبوتْنِك ١ الّذي أُطلِقَ بتاريخ ٤ أكتوبر ١٩٥٧ بواسطةِ صاروخٍ ذي ثَلاثِ مَراحِلَ. في الصّارُوخِ المُتعدِّدِ المَراحِلِ يَسْتهلِكُ مُحرِّكُ الصّاروخِ الأوّلُ وَقُودَه ويَحْترِقُ ويَسْقُطُ مُخلِّيًا عِبْءَ دفْعِ الصّارُوخِ المُنطلِقِ بسُرعَةٍ والأخفِّ وَزْنًا حينئذٍ على مُحرِّكِ المَرحلةِ التاليةِ، وهكذا يتسارَعُ الصّاروخُ. ولكيْ يَتخَلَّصَ الصّارُوخُ مِنْ جاذِبيَّةِ الأرْضِ لِلانْطِلاقِ نَحو جِرْمٍ آخرَ لا بُدَّ له مِنْ سُرْعَةٍ تَبْلُغُ حَوالَى ٤٠٠٠٠ كيلومترٍ في السّاعةِ. أمّا الصّارُوخُ العائدُ مِنَ القَمرِ، ذي الجاذبيَّةِ الأقَلِّ، فلا يحتاجُ إلّا إلى سُرْعةِ انطِلاقٍ تَبْلُغُ ٨٥٠٠ كيلومترٍ في السّاعَةِ.

وتُسْتَخْدَمُ الأقْمارُ الصّناعيّةُ لاكتشافِ الفَضاءِ خارجَ جوِّ الأرْضِ، فتَحْمِلُ آلاتٍ تُسجِّلُ دَرجَةَ الحرارةِ والمجالاتِ المَغْنَطيسيَّةَ والأشِعَّةَ الكَوْنيَّةَ أوْ تَسْتقْصي النَّيازِكَ والشُّهُبَ وما سِوى ذٰلك مِنْ خصائصِ الفَضاءِ.

وتُسْتَخْدَمُ التّوابعُ الأرْضِيَّةُ العاكِسَةُ لِنَقْلِ البرامجِ التِّلفزيُونِيَّةِ حَوْلَ الأرْض، فالأمْواجُ التلفِزيُونيَّةُ البالِغَةُ القِصَرِ لا تَنْعَكِسُ عَنِ الإيُونوسفيرِ بَلْ تَخترِقُها (انْظُرْ صَفْحَةَ ٢٤٣) ولا بُدَّ لها مِنْ عاكِسٍ يَرُدُّها إلى الأرْضِ.

كَذٰلِكَ تُسْتَخْدَمُ الأقمارُ الصّناعيَّةُ في **الأرْصادِ الجَوِّيَّةِ**، فتُجهَّزُ بآلاتِ رَصْدٍ خاصَّةٍ تَرْقُبُ تكوُّنَ الغُيومِ والأعاصيرِ وتُرْسِلُ صُوَرَها إلى مَحطّاتِ الرَّصدِ الجَويِّ.

وَقدْ نَشأَ مع رِيادةِ الفَضاءِ فَرْعٌ من الطِّبِّ جَديدٌ هُوَ طِبُّ الفَضاءِ يُعْنَى بدِراسةِ تأْثيرِ السَّفَرِ عَبْرَ الفَضاءِ على الإنْسانِ. فالرُّوّادُ يتعرَّضُونَ لمَشاكِلِ التّسارُعِ والارتِجاجِ والضّجيجِ وحالةِ انعدامِ الوَزْنِ، بالإضافَةِ إلى أخْطارِ دَرجاتِ الحَرارةِ العاليَةِ والإشعاعاتِ القاتِلَةِ؛ ولا بُدَّ من إيجادِ حَلٍّ لِهٰذِهِ المُعْضِلاتِ.

مَركبةُ ٱلقِيادةِ
مَرْكبةُ ٱلخِدْمة
العَربة ٱلقمَريَّةُ
هَيْدروجينٌ سائلٌ
أُكسجينٌ سائلٌ
مُحرِّكُ ج ٢
للمرحَلة الثالثة
هَيدروجينٌ سائلٌ
أُكسجين سائلٌ
٥ محركات ج ٢
للمرحلة الثانية
أُكسجينٌ سائلٌ
كيروسين
٥ مُحرِّكاتٌ مِن طِراز ٥ – ١
للمرحَلة ٱلأُولى تُولِّد دَفعًا مِقدارُه
٣٥٠ ٠٠٠ ٣ كيلوغرام.

الحِمْلُ ٱلآجِرُ
(ٱلمُراد نَقْلُهُ)

فَوقُ

يَعمَلُ ٱلصّارُوخُ بوَقُودٍ دامِرٍ (يَحْوي ٱلأُكسِجينَ ٱللازِمَ لاحتِراقِهِ، بشكْلٍ سائلٍ غالبًا). يَحترِقُ ٱلوَقُودُ في حُجرة الاحتراقِ وتَنطلِقُ ٱلغازاتُ ٱلمُتولِّدةُ عبرَ فُوهةِ ٱلنَّفْثِ في مُؤخّرة ٱلصّارُوخِ. ويَندَفِعُ ٱلصّاروخُ إلى ٱلأمامِ كَرَدِّ فِعْلٍ لانبثاقِ غازاتِ ٱلعادِمِ ٱلمُنطلِقَةِ بِقُوّةٍ إلى ٱلوَراء.

أَقْصى ٱليسار

لَحظَةُ ٱلإقلاعِ ٱلمُثيرةُ في عَمليّةِ ٱنطِلاقِ صارُوخٍ مِنْ طِرازِ أطْلَس مِيركُورِي مِنْ قاعِدةِ ٱلإطلاقِ ٱلضّخْمَةِ.

إلى ٱليسار

ساتِرْن ٥، ٱلصّارُوخُ ٱلذي حَمَلَ مَركبةَ أبُولُّو ١١ بِرُوّادِها إلى ٱلقمر. وهٰذا ٱلصّارُوخُ ذُو ثلاثِ مَراحِلَ تَعمَلُ مَرحَلَته ٱلأُولى بالكيروسينِ والأُكسجينِ السّائلِ ومَرْحَلتاه ٱللاحقتانِ بالهَيْدروجينِ ٱلسائل كَوَقُودٍ والأُكسجينِ ٱلسائل كمُؤكسِدٍ. ارتفاعُ هٰذا ٱلصّارُوخ ١١٠ أمْتارٍ ووَزْنُه ٱلإجمالي ٢٧٠٠ طُنٍّ، و باستِطاعتِه نَقْلُ حُمُولةٍ آجِرَة إلى ٱلقمَرِ وَزْنُها ٤٥ طنًّا.

إلى أَقْصى ٱليسار

صارُوخٌ نَوَويٌّ. تَجري الاختباراتُ حاليًّا لِتطويرِ صارُوخٍ نَوَوِيٍّ يَتألّفُ مِنْ مُفاعِلٍ نَوَوِيٍّ صَغيرٍ يُسَخِّنُ تيّارًا مِنَ ٱلهيدروجينِ. والمعروفُ أنَّ جَميعَ ٱلصّواريخِ ٱلّتي استُخدِمَتْ حتّى هٰذا ٱلتاريخِ في ٱلرِّحلاتِ ٱلفضائيّةِ تعتمدُ في وَقودِها على ٱلموادِّ الكيماويّةِ.

المَسْرَدُ العَامُّ
لِمَوادِّ المَوسُوعَةِ العِلْمِيَّةِ المُيَسَّرَةِ

هٰذَا المَسْرَدُ جُزْءٌ بَالِغُ الأَهَمِّيَّةِ فِي هٰذِهِ المَوسُوعَةِ الرَّائِدَةِ - فَهُوَ فِي الوَاقِعِ بِمَثَابَةِ المِفتَاحِ وَالدَّلِيلِ وَالمُرْشِدِ لِمَوادِّ المَوسُوعَةِ فِي مُختَلِفِ مجَالاتِهَا .

وَقَدْ رُتِّبَتْ مَوادُّ المَسْرَدِ أَلِفْبَائِيًّا وَفْقًا لِحُرُوفِهَا الأُولَىٰ (أَيْ دُونَ اعْتِبَارِ الأَصْلِ المُجَرَّدِ الذِي اشْتُقَّتْ مِنهُ) مَعَ إِغفَالِ اعْتِبَارِ أَل التَّعْرِيفِ حَيثُمَا تَرِدُ - فَمَادَّةُ « اسْتِقْطَاب » تُطْلَبُ فِي « ا » . كَمَا تُطْلَبُ مَادَّةُ « التَّلَوُّث » فِي « ت » ، وَمِثْلُهَا أَيضًا مَادَّتَا « تَمَدُّد » و « التَّمْثِيل الضَّوْئِيّ » .

وَيُشِيرُ الرَّقَمُ (أَو الأَرقَامُ) بِجَانِبِ المَادَّةِ إِلَى الصَّفحَةِ (أَوِ الصَّفَحاتِ) التِي يَرِدُ فِيهَا ذِكرُ المَدْخَلِ مَوْضِعِ البَحْث . مَعَ مُلاحَظَةِ أَنَّ الأَرقَامَ الفَاتِحَةَ تُشِيرُ إِلَى النَّصِّ فِي المَتْنِ ، بَيْنَمَا تُشِيرُ الأَرقَامُ الغَامِقَةُ إِلَى النَّصِّ المُرفَقِ بِالصُّوَر .

كَذٰلِكَ اسْتَخْدَمْنَا الشَّرْطَةَ المُمَوَّجَة ~ لِتَقومَ مَقَامَ المَدْخَلِ عِنْدَمَا يَتَكَرَّرُ هٰذَا المَدْخَلُ فِي مَوَادَّ تَالِيَةٍ لِإِبْرَازِ المَدَاخِلِ فِي المَسْرَدِ بِوضُوحٍ وَانْتِظَامٍ .

أ

ب

ت

ث

ج

ح

خ

د

ز

س

ش

ص

ض

ط

ظ

ع

غ

ف

ق

ك

ل

م

ن

ي